



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
DEPARTAMENT D'EXPRESSIÓ GRÀFICA A L' ENGINYERIA

TESIS DOCTORAL

DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE LAS HABILIDADES ESPACIALES DE LOS
ESTUDIANTES DE INGENIERÍA. ACTIVIDADES Y ESTRATEGIAS DE
RESOLUCIÓN DE TAREAS ESPACIALES

ARANTZA VILLA SICILIA

DIRECTORES:

DR. FRANCESC ALPISTE PENALBA

DR. JORDI TORNER RIBÉ



TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE DOCTORA
POR LA UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE LAS HABILIDADES ESPACIALES DE LOS
ESTUDIANTES DE INGENIERÍA. ACTIVIDADES Y ESTRATEGIAS DE
RESOLUCIÓN DE TAREAS ESPACIALES

AUTORA: ARANTZA VILLA SICILIA

DIRECTORES:

DR. FRANCESC ALPISTE PENALBA

DR. JORDI TORNER RIBÉ

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
DEPARTAMENT D'EXPRESSIÓ GRÀFICA A L'ENGINYERIA
PROGRAMA DE DOCTORADO: INGENIERÍA MULTIMEDIA

BARCELONA, NOVIEMBRE 2

AGRADECIMIENTOS

A Francesc Alpiste y Jordi Torner, directores de esta tesis,
por su ayuda, dedicación, orientación, disposición y ánimos

A Francisco Hernández y Jordi Font
por su dedicación, paciencia, amistad y sabios consejos

Al resto de mis compañeros del Departamento de Expresión Gráfica en la Ingeniería,
en especial a los de ETSEIB y ETSEIAT
por su disposición y ayuda

A Juan José Fábregas
por su interés y orientación

A los alumnos de ETSEIB y otras escuelas de la UPC
protagonistas de este estudio
por dedicar buena parte de su tiempo a la realización de test y entrevistas personales

A todos aquellos familiares, amigos y conocidos que se han esforzado en hacer el test

A mi gran familia: mis hijos Blanca, Arantxa y David, mi madre, hermanos, cuñados y sobrinos y
A mis buenos amigos
por todo su cariño, generosidad y apoyo. Por ser como son, por todo.
Ahora tendré más tiempo para disfrutarlo con vosotros

A Terete

Cuánto te echaré de menos

RESUMEN

La habilidad espacial es fundamental para el éxito académico y profesional de los ingenieros y está demostrado que puede desarrollarse con el entrenamiento adecuado.

La docencia universitaria ha experimentado grandes cambios. La enseñanza práctica adquiere más relevancia y debe centrar sus objetivos en la adquisición de las competencias necesarias para el futuro profesional. Una competencia que debe adquirir el ingeniero es la capacidad de visión espacial, asignada en los planes de estudio a las asignaturas de gran contenido en representación gráfica.

Las nuevas tecnologías y la posibilidad de modelar los objetos en 3D ha modificado de forma sustancial el proceso de diseñar y representar en ingeniería y arquitectura. En la docencia tradicional, la secuencia necesaria para dibujar en el papel los objetos tridimensionales, facilitaba el desarrollo de ciertos aspectos de la habilidad espacial. A raíz de la incorporación de la informática, han surgido numerosas investigaciones sobre cómo utilizar los nuevos recursos y metodologías en la docencia de la ingeniería.

Se han desarrollado diferentes materiales, cursos o herramientas (específicos o incluidos en las asignaturas) para potenciar el desarrollo de las habilidades espaciales. Una dificultad en su implementación consiste en medir la validez y eficacia de dichas actuaciones. Continuando con esta línea de investigación, es importante saber qué pruebas pueden evaluar mejor las habilidades espaciales requeridas en los estudiantes de ingeniería, en concreto en el proceso gráfico y de diseño. Es importante también averiguar qué estrategias se emplean en la resolución de tareas espaciales y cuáles son más óptimas. Puede deducirse que fomentar el uso de dichas estrategias conduce a desarrollar las habilidades espaciales necesarias.

Se ha realizado una investigación con estudiantes de primer curso de ingeniería de la Universitat Politècnica de Catalunya. Se han evaluado tres habilidades espaciales (plegado mental: DAT-SR; rotación mental: PSVT:R; y corte por un plano: MCT) antes y después de cursar Expresión Gráfica y se han realizado entrevistas en profundidad para averiguar las estrategias empleadas en su resolución. Se han relacionado las puntuaciones en dichas pruebas con las estrategias aplicadas, variables de los participantes (género, experiencias previas...) y evaluaciones de los diferentes bloques temáticos de la asignatura. A partir del análisis de resultados se han propuesto unos criterios para programar actividades que

potencien el desarrollo de las habilidades espaciales, además de cubrir la adquisición de conocimientos necesarios.

La estrategia más eficiente en resolución de tareas espaciales es una estrategia flexible que permite seleccionar la más adecuada para cada caso. Las personas con buenas habilidades espaciales, tienden a emplear una estrategia espacial holística. Pero si la tarea lo requiere (cuando se complica), emplean estrategias más analíticas, que suponen más tiempo pero menos esfuerzo. Las personas con pobres habilidades espaciales tienen dificultades en la aplicación de estrategias espaciales holísticas. Es necesario programar actividades iniciales que fomenten el uso único de estrategias espaciales.

De las tres pruebas estudiadas, *Mental Cutting test* (MCT) es la mejor relacionada con las habilidades necesarias en ingeniería gráfica. El análisis de resultados y la opinión de los alumnos han confirmado que el estudio de geometría espacial es fundamental para potenciar el desarrollo del razonamiento y la habilidad espacial. El CAD 3D permite abordar este tema con profundidad y se ha demostrado que el modelado 3D desarrolla las habilidades espaciales. Las nuevas tecnologías pueden suponer un progreso en potenciar la capacidad de visión espacial y cuentan con la ventaja adicional de una mayor motivación del alumno. Por otra parte, es necesario también fomentar el uso del croquis a mano alzada, a pesar de la preferencia de los estudiantes por la tecnología.

Palabras clave: *visión espacial, capacidad espacial, habilidad espacial, pruebas espaciales, expresión gráfica, estrategias, educación en ingeniería, DAT-SR, PSVT:R, MCT*

ABSTRACT

Spatial skills are vital for the academic and professional success of engineers, and it is demonstrated that they can be acquired with the right training.

University teaching has recently undergone big changes. Practical learning has acquired greater importance and its aims should be focused on the acquisition of the skills required for the future of the profession. One skill that engineers should learn is the capacity for spatial vision, which is included in the study plans for subjects involving a large amount of graphic representation.

New technologies and the possibility of modelling objects in 3D have substantially changed the process of design and representation in engineering and architecture. In traditional teaching methods, the sequence required for drawing three-dimensional objects on paper facilitated the development of certain aspects of spatial ability. With the incorporation of computer techniques, much research work has been conducted on how to use these new resources and methodologies in the teaching of engineering at a university level.

Different materials, courses and tools (either specific or included in the subjects) have been developed to strengthen to learning of spatial skills. One difficulty in such an implementation lies in measuring their validity and effectiveness. In pursuance of this line of research, it is important to determine what tests can be drawn up to improve the assessment of the spatial skills necessary for engineering students; in particular, in the design and graphic process. It is also important to determine what strategies must be employed in completing spatial tasks as well finding out which of these strategies are the most optimal. It may be deduced that stimulating the use of such strategies leads to the development of the required spatial skills.

A research survey was conducted with students belonging to the first year of an engineering degree at the *Universitat Politècnica de Catalunya* (Technical University of Catalonia), in which three spatial skills were evaluated (mental folding: DAT-SR; mental rotation: PSVT:R; and the mental cutting test: MCT) both before and after completing the course on Graphic Expression. In-depth interviews were conducted to determine the strategies employed by the students in solving these tasks. The scores in these tests were related with the strategies applied, the variables of the participants (gender, previous experience, etc.) and the evaluations of the different thematic blocks of the subject. On the basis of these results, some criteria are

proposed for the strengthening of the development of spatial skills as well as providing for the acquisition of the knowledge they require.

The most efficient strategy for the successful completion of spatial tasks is a flexible strategy that enables students to choose the best one for each case. People with good spatial skills tend to employ a holistic spatial strategy, but if the task so requires (when it becomes complicated) they employ more analytic strategies, which take more time but require less effort. People with poor spatial skills encounter difficulties in the application of holistic spatial strategies. It is necessary to programme initial activities that encourage the single use of spatial strategies.

Of the three tests under study, the Mental Cutting Test (MCT) is the one that is most closely related with the skills necessary for graphic engineering. The analysis of the results and the opinion of the students confirm that the study of spatial geometry is vital for improving the development of spatial reasoning and ability. The 3D CAD enables this matter to be tackled in an in-depth manner, and it is shown that 3D modelling assists in the acquisition of spatial skills. The new technologies constitute an advance in the improvement of spatial vision capacity and have the additional advantage of providing the students with greater motivation. Furthermore, it is also necessary to encourage the use of freehand drawing, despite the students' preference for the technology of choice.

Keywords: visualization; spatial ability; spatial test; graphic engineering, engineering education; strategy, DAT-SR, PSVT:R, MCT

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
ÍNDICE DE TABLAS.....	14
ABREVIATURAS.....	16
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	17
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.1.1 Contexto	19
La habilidad espacial en el contexto del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES)	19
Influencia de las Nuevas Tecnologías en Expresión Gráfica en la Ingeniería	20
Habilidad Espacial y Expresión Gráfica en la Ingeniería.....	21
1.1.2 Antecedentes.....	22
Estrategias para Desarrollar las Habilidades Espaciales	22
Medición de las Habilidades Espaciales en los Ingenieros	23
1.2 JUSTIFICACIÓN	24
1.3 OBJETIVOS	26
1.4 ACOTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
1.5 CUESTIONES PLANTEADAS	27
1.6 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	28
1.7 METODOLOGÍA.....	29
1.8 ESTRUCTURA DE LA TESIS.....	33
1.9 CONTRIBUCIONES APORTADAS	35
CAPÍTULO 2. ESTUDIO TEÓRICO Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	37
2.1 QUÉ ES LA HABILIDAD ESPACIAL Y QUÉ FACTORES LA COMPONEN.....	39
2.1.1 Múltiples inteligencias	39
2.1.2 Habilidades Espaciales	43
2.1.3 Componentes de las Habilidades Espaciales:	44
2.2 VARIABLES CONDICIONANTES	52
2.2.1 Género	52
2.2.2 Culturales y Socioeconómicos	55
2.2.3 Edad.....	56
2.2.4 Experiencias Previas.....	57
Videojuegos.....	57
Juegos de Construcción	58

Deportes	58
Estudio de Dibujo Técnico.....	59
2.3 IMPORTANCIA DE LAS HABILIDADES ESPACIALES EN DOMINIOS STEM	61
2.4 MEDICIÓN DE HABILIDADES ESPACIALES	65
2.4.1 Pruebas empleadas en evaluar las HE en estudiantes de Ingeniería.....	65
2.4.2 Rotación mental, corte por un plano y plegado mental	77
2.4.3. Relación entre pruebas de HE y Expresión gráfica	80
2.5 ESTRATEGIAS EN RESOLUCIÓN DE TAREAS ESPACIALES.....	81
2.5.1 Diferencias Entre Estrategias.....	81
2.5.2 Estrategias más Óptimas	82
2.5.3 Dificultades añadidas a la resolución de pruebas espaciales	85
Memoria de Trabajo	85
Interpretación de perspectivas.....	85
2.5.4 Diferencias de género en estrategias.....	88
Estrategias holísticas vs. estrategias analíticas	88
Velocidad de trabajo.....	89
Interpretación de perspectivas.....	90
Estereotipos negativos	90
Diferencias neurofuncionales	91
2.5.5 Diferencias culturales	92
2.6 METODOLOGÍAS PARA DESARROLLAR LAS HABILIDADES ESPACIALES	93
2.6.1 Consideraciones Varias	94
2.6.2 Qué Instruir. Teorías de Aprendizaje	94
2.6.3 Herramientas y Métodos para el Desarrollo de las Habilidades Espaciales	96
Dibujar a Mano Alzada. Croquis	96
Ejercicios Específicos de Lápiz y Papel.....	98
Manipulación de Modelos Físicos y Virtuales	111
Aplicaciones	113
Modelar Objetos en 3D	121
Geometría Descriptiva – Expresión Gráfica	122
Otras Metodologías que favorecen el desarrollo de las HE.....	125
Tablas Resumen.....	130
CAPÍTULO 3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	141
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	151
4.1 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS (DAT-SR, PSVT:R Y MCT)	153

4.2	VARIABLES DEMOGRÁFICAS	160
4.2.1	Género	164
4.2.2	Edad	165
4.2.3	Estudios en curso	166
4.2.4	Primera vez que cursa asignatura	166
4.2.4	Experiencia en CAD 3D	168
4.2.5	Dibujo en bachillerato	169
4.2.6	Nota media de dibujo en bachillerato	171
4.2.7	Nota media de matemáticas de bachillerato	173
4.2.8	Nota media de bachillerato	174
4.2.9	Nota de las PAU's (fase general)	175
4.2.10	Trabaja mientras estudia	176
4.2.11	Considera su capacidad de visión espacial	177
4.2.12	Práctica habitual de deporte	178
4.2.13	Uso habitual de videojuegos	180
4.2.14	Lateralidad	182
4.2.15	Juegos de construcción en infancia	183
4.2.16	Otras	185
4.3	ESTRATEGIAS EN LA RESOLUCIÓN DE DAT-SR, PSVT:R Y MCT	186
4.3.1	Estrategias de visualización y comparación	187
	Estrategias en DAT-SR	187
	Estrategias en PSVT:R	188
	Estrategias en MCT	191
4.3.2	Dificultades en la resolución de los test	193
	Dificultades en DAT-SR	193
	Dificultades en PSVT:R	194
	Dificultades en MCT	195
	Ranking de dificultad de cada test	196
4.3.3	Estrategias generales de resolución de test	198
	Estrategia verbal	198
	Estrategia gestual	199
	Elección	199
	Tiempo límite	199
4.3.4	Relación con Variables demográficas de los entrevistados	201
	Género	201
	Otras	203

Perfil de los mejores alumnos.....	204
4.4 ENCUESTA DE OPINIÓN.....	206
4.4.1 <i>Auto-informe de Capacidad Espacial</i>	206
4.4.2 <i>Mejoría de las Habilidades Espaciales</i>	209
4.4.3 <i>Materia de la asignatura</i>	209
4.5 ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS DAT-SR, PSVT:R Y MCT.....	210
4.5.1 <i>DAT-SR</i>	210
4.5.2 <i>PSVT:R</i>	212
4.5.3 <i>MCT</i>	214
4.6 CORRELACIONES ENTRE NOTAS Y TEST.....	223
4.6.1 <i>Test Iniciales</i>	223
4.6.2 <i>Test Finales</i>	226
4.7 MEJORÍA DE LAS HABILIDADES ESPACIALES DESPUÉS DE CURSAR EXPRESIÓN GRÁFICA.....	227
4.8 CORRELACIONES ENTRE DAT-SR, PSVT:R Y MCT.....	230
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	233
5.1 CONCLUSIONES.....	235
5.1.1 <i>Conclusiones Generales</i>	235
5.1.2 <i>Estrategias en resolución de tareas espaciales</i>	236
5.1.3 <i>Relaciones entre resultados en las pruebas y evaluaciones de la asignatura</i>	237
5.1.4 <i>variables relacionadas con las habilidades espaciales</i>	239
5.1.5 <i>Criterios para programar actividades que potencien el desarrollo de las habilidades espaciales</i>	240
5.2 LÍNEAS FUTURAS.....	243
CAPÍTULO 6. PROPUESTA DE ACTIVIDADES.....	245
REFERENCIAS.....	269
ANEXOS.....	288
Instrucciones de los test.....	289
Cuestionarios de entrevistas.....	292
Pruebas puntuables de la asignatura Expresión Gráfica.....	296
Guía de la asignatura.....	308
Enunciado de proyecto.....	316
Comparaciones en test. Variables: género y dibujo en bachillerato.....	323
Dificultad de ítems en DAT-SR y PSVT:R.....	334
Ganancias en los test. Significancia.....	336
Rectas de regresión Notas / Test.....	338

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Componentes de Capacidad. Teoría de Sánchez y Reyes, 2003	28
Fig. 2. Metodología.....	32
Fig. 3. Ejercicios de los cinco componentes de las Habilidades espaciales.	45
Fig. 4. Clasificación de las Habilidades Espaciales. Ejemplos. Fuente: Uttal et al. (2013)	48
Fig. 5. Tarea de <i>Spatial Working Memory</i> empleada.	54
Fig. 6. Ejemplo de ítem de <i>Mental Cutting Test</i> (MCT)	66
Fig. 7. Ejemplo de ítem de <i>Mental Rotation Test</i> (MRT)	66
Fig. 8. Ejemplo de ítem de PSVT:R	67
Fig. 9. Ejemplo de ítem de Differential Aptitude Test: Spatial Relations (DAT-SR)	67
Fig. 10. Algunos ejemplos de ítems de test seleccionados por Kelly (2013)	69
Fig. 11. Algunos ejemplos de test, extraídos de Linn & Petersen, 1985	70
Fig. 12. Ejemplo de Lappan test. Fuente: (Veurink et al. 2009). Seleccionar la vista trasera ..	71
Fig. 13. Subfactores y test de medida de la capacidad espacial.....	71
Fig. 14. Ejemplo de <i>Perspective Taking / Spatial Orientation Test (OPT)</i>	72
Fig. 15. Ejemplos de ítems de test 3DAT (Sutton & Williams 2008)	74
Fig. 16. Ejemplos de <i>Santa Bárbara Solid Test</i> (Cohen y Hegarty, 2012)	75
Fig. 17. Ejemplos de <i>Non-rigid Bending test</i>	76
Fig. 18. Ejemplos de ítems de Mental Cutting Test.....	79
Fig. 19. Secuencia de <i>eye fixation</i> en tres ensayos de razonamiento mecánico	83
Fig. 20. Ejemplo de dos ensayos diferentes.	83
Fig. 21. Ejemplo de ejercicio de engranaje. Fuente: Hegarty et al. 2005, Hegarty, 2010	84
Fig. 22. Ejemplo de enunciado modelado de ítems en MCT. Fuente: Ping 2015	86
Fig. 23. Ejemplo de dibujo de intersección en perspectiva de enunciado en ítem de MCT	86
Fig. 24. Ejemplo ítem de MCT. Posibilidad de girar el sólido. Fuente: Tsutsumi 2008	87
Fig. 25. Ítems de PSVT:R. Izda: ejemplo de isométrica confusa.	87
Fig. 26. Ejemplo de ítem de PSVT:R incluyendo ejes de coordenadas. Fuente: Branoff 2009a	89
Fig. 27. Representación estadística de porcentaje de <i>BOLD activation</i>	91
Fig. 28. Modelo sugerido sobre actitudes hacia el <i>Sketching y Drawing</i> (S & D)	97
Fig. 29. Portada libro Sorby & Baartmans 1995.....	98
Fig. 30. Portada libro Sorby & Wysocki, 2003.....	99
Fig. 31. Ejemplos de ejercicios del libro de Sorby & Wysocki, 2003	100
Fig. 32. Portada y ejemplos de ejercicios del libro de Pérez y Serrano, 1998	102
Fig. 33. Visualizador tridimensional Diédrico. Fuente Martín et al.2008	105
Fig. 34. Clasificación realizada por Martín G. 2010 ..	106

Fig. 35. Actividades propuestas. Fuente: Martín y otros. 2008	107
Fig. 36. Croquis en interfaz caligráfica. Fuente: Martín et al. 2009	108
Fig. 37. Juego Tetris para PC y Nintendo DS. Fuente: Martín 2010	108
Fig. 38. Realidad Aumentada en resolución de ejercicios. Fuente: Martín, 2010	109
Fig. 39. Ejemplos de ejercicios aplicados a móviles. Fuente: Martín D. 2009	110
Fig. 40. Esquema de proceso. Fuente: Pérez et al.2006	111
Fig. 41. Ejemplos de modelos físicos prototipados. Fuente: Sierra et al. 2009	112
Fig. 42. Physical Model Rotator y Alternative View Screen. Fuente:Towle et al. 2005.....	114
Fig. 43. Ejemplo de interacción virtual mediante VRML. Fuente: Garmendia et al. 2004.....	115
Fig. 44. Objeto VMRL y sus vistas correspondientes. Fuente: Rafi et al. 2005	115
Fig. 45. Izda: EDwgT. Dcha: ejemplo de videoclip. Fuente: Rafi y otros, 2006	116
Fig. 46. Página web de un ejercicio de rotación mental.....	117
Fig. 47. Estudiante realizando un ejercicio en ILMAGE-SV. Fuente: Melgosa et al. 2013	118
Fig. 48. Diferentes tipos de ejercicios.	119
Fig. 49. Ejemplos de aplicaciones web de libre acceso que desarrollan las HE.....	120
Fig. 50. Web VIZ	121
Fig. 51. Ejemplos de SAD (Sistema de Apoyo al Dibujo).....	125
Fig. 52. Aplicación de modelado 3D mediante bocetos axonométricos	126
Fig. 53. Material multimedia desarrollado para aprender asignaturas gráficas.....	127
Fig. 54. Sistema de obtención de un sólido a partir de las vistas ortográficas.....	128
Fig. 55. Dadas la planta y el alzado, representar la vista de perfil.	128
Fig. 56. Construcción de maquetas de proyectos de ingeniería	129
Fig. 57. Izda. Vistas mínimas necesarias. Dcha. Determinación de la sección	130
Fig. 58. Ejemplo de cada una de las pruebas empleadas	144
Fig. 59. Test DAT-SR en formulario de Google Drive	145
Fig. 60. Box-plot de pruebas iniciales y finales	154
Fig. 61. Box-Plot de evaluaciones de la asignatura	156
Fig. 62. Ejemplo de curva normal en MCT-pre	156
Fig. 63. Prueba de bondad de ajuste. Test de Kolmogorov-Smirnov.....	159
Fig. 64. Prueba U de Mann-Whitney	163
Fig. 65. Frecuencias. Género	164
Fig. 66. Puntuaciones medias en las pruebas. Género	165
Fig. 67. Frecuencias. Edad	165
Fig. 68. Frecuencias. Grado que cursa	166
Fig. 69. Frecuencias. Nuevo en asignatura.....	166
Fig. 70. Puntuaciones medias en las pruebas. Nuevo en asignatura	167

Fig. 71. Frecuencias. Experiencia en CAD 3D	168
Fig. 72. Programa más utilizado de CAD 3D	169
Fig. 73. Frecuencias. Ha cursado dibujo en bachillerato	169
Fig. 74. Puntuaciones medias en las pruebas. Dibujo en bachillerato	170
Fig. 75. Frecuencias. Nota media en dibujo de bachillerato	171
Fig. 76. Puntuaciones medias en las pruebas. Nota media de dibujo en bachillerato	172
Fig. 77. Frecuencias. Nota media de matemáticas de bachillerato.....	173
Fig. 78. Puntuaciones medias en las pruebas. Nota media de Matemáticas en bachillerato ..	173
Fig. 79. Frecuencias. Nota media de bachillerato / Nota media.....	174
Fig. 80. Puntuaciones medias en las pruebas. Nota media en Bachillerato	175
Fig. 81. Frecuencias. Nota de las PAU's (Fase general)	175
Fig. 82. Puntuaciones medias en las pruebas. Nota PAU's en fase general	176
Fig. 83. Frecuencias: Trabaja y estudia	176
Fig. 84. Frecuencias. Considera buena su Habilidad Espacial	177
Fig. 85. Puntuaciones medias en las pruebas. Considera buena su visión espacial	178
Fig. 86. Frecuencias. Práctica habitual de deporte	178
Fig. 87. Puntuaciones medias en las pruebas. Práctica habitual deportiva	179
Fig. 88. Frecuencias. Uso habitual de videojuegos.....	180
Fig. 89. Puntuaciones medias en las pruebas. Uso habitual de videojuegos	181
Fig. 90. Frecuencias. Tipo de videojuego habitual.....	181
Fig. 91. Frecuencias. Lateralidad	182
Fig. 92. Puntuaciones medias en las pruebas. Lateralidad.....	183
Fig. 93. Frecuencias. Juegos de construcción en infancia.....	183
Fig. 94. Puntuaciones medias en las pruebas. Uso de juegos de construcción en infancia	184
Fig. 95. Realiza alguna actividad artística.....	185
Fig. 96. Padres ingenieros o arquitectos.....	185
Fig. 97. Dificultad de las pruebas. Opinión y resultados	197
Fig. 98. Estrés durante la resolución de las pruebas	198
Fig. 99. Considera buena su Habilidad espacial. Frecuencias	207
Fig. 100. Puntuaciones medias en las pruebas. Auto-informe de HE.....	208
Fig. 101. Opinión Mejoría HE. Frecuencias.	209
Fig. 102. Opinión sobre qué tema ha desarrollado más su HE.....	209
Fig. 103. Opinión sobre qué tema ha interesado más	210
Fig. 104. Porcentaje de aciertos por intervalos. DAT-SR.....	211
Fig. 105. Ítems más difíciles y más fáciles. DAT-SR.....	212
Fig. 106. Porcentaje de aciertos por intervalos. PSVT:R	213

Fig. 107. Ítems más difíciles y más fáciles. PSVT:R	213
Fig. 108. Porcentaje de aciertos por intervalos. MCT	215
Fig. 109. Comparativo de aciertos en MCT.....	217
Fig. 110. Diferencias de porcentajes de aciertos en ítems de MCT-pre y MCT-pos.....	221
Fig. 111. Rectas de regresión Test iniciales / Nota Final de asignatura	225
Fig. 112. Rectas de regresión Test finales / Nota final de la asignatura	226
Fig. 113. Box-plot de ganancias absolutas.	227
Fig. 114. Porcentaje de alumnos por intervalo de ganancias	228

ÍNDICE DE TABLAS

Tab. 1. Clasificación de Habilidades Espaciales según diferentes autores	46
Tab. 2. Clasificación de las Habilidades Espaciales, medidas asociadas y correspondencia con categorías definidas por otros investigadores. Fuente: Uttal y otros, 2013.	49
Tab. 3. Test seleccionados por Kelly (2013).....	68
Tab. 4. Test clasificados por (Sjölander 1998).....	70
Tab. 5. Variables demográficas.....	146
Tab. 6. Variables contempladas en el análisis estadístico.....	150
Tab. 7. Puntuaciones en las pruebas iniciales y finales. Ganancias.....	153
Tab. 8. Estadísticos descriptivos de variables cuantitativas de las pruebas de HE	157
Tab. 9. Estadísticos descriptivos de variables de las evaluaciones de la asignatura	158
Tab. 10. Estadísticos de Grupo. Variable: Género.....	161
Tab. 11. Prueba t de Student para muestras independientes. Variable: Género.....	162
Tab. 12. Puntuaciones medias y significancias. Género.....	164
Tab. 13. Puntuaciones medias. Estudios que cursa	166
Tab. 14. Puntuaciones medias y significancias. Nuevo en asignatura	167
Tab. 15. Puntuaciones medias y significancias. Experiencia en CAD 3D.....	168
Tab. 16. Puntuaciones medias y significancias. Ha cursado dibujo en bachillerato	169
Tab. 17. Puntuaciones medias y significancias. Nota media de dibujo en bachillerato	172
Tab. 18. Correlaciones entre puntuaciones y nota media de bachillerato	174
Tab. 19. Puntuaciones medias y significancias. Trabaja y estudia	177
Tab. 20. Puntuaciones medias y significancias. Considera buena su visión espacial	178
Tab. 21. Deporte más habitual	179
Tab. 22. Puntuaciones medias y significancias. Uso habitual de videojuegos	180
Tab. 23. Puntuaciones medias y significancia. Lateralidad.....	182
Tab. 24. Puntuaciones medias y significancias. Juegos de construcción en infancia	184

Tab. 25. Puntuaciones medias en las pruebas de entrevistados y total de testeados.....	186
Tab. 26. Estrategias en la resolución de DAT-SR.....	188
Tab. 27. Estrategias en la resolución de PSVT:R	189
Tab. 28. Estrategias en la resolución de MCT	192
Tab. 29. Dificultades en la resolución de DAT-SR.....	193
Tab. 30. Dificultades en la resolución de PSVT:R	194
Tab. 31. Dificultades en la resolución de MCT.....	196
Tab. 32. Dificultad de las pruebas. Opinión y resultados	197
Tab. 33. Estrés durante la resolución de las pruebas	198
Tab. 34. Estrategias generales de resolución en las pruebas	200
Tab. 35. Resultados de los entrevistados en las pruebas. Variables.....	201
Tab. 36. Puntuaciones medias y correlaciones. Auto-informe de HE	208
Tab. 37. Puntuaciones medias y ganancias. DAT-SR	211
Tab. 38. Porcentaje de aciertos por intervalos. DAT-SR	211
Tab. 39. Puntuaciones medias y ganancias. PSVT:R.....	212
Tab. 40. Porcentaje de aciertos por intervalos. PSVT:R.....	212
Tab. 41. Puntuaciones medias y ganancias. MCT.....	214
Tab. 42. Porcentaje de aciertos por intervalos. MCT	214
Tab. 43. Comparativo de puntuaciones en MCT.....	216
Tab. 44. Dificultad de Ítems MCT. Ordenados de menor a mayor dificultad.....	219
Tab. 45. Correlaciones entre los test iniciales y las diferentes notas de la asignatura	223
Tab. 46. R cuadrado en modelos de Regresión Test iniciales / Notas de la asignatura.....	224
Tab. 47. Correlaciones entre los test finales y la nota final en la asignatura	226
Tab. 48. Puntuaciones medias (%) y ganancias absolutas.....	227
Tab. 49. Porcentaje de alumnos por intervalo de ganancias	228
Tab. 50. Puntuaciones medias (%) en test-pre por intervalo de ganancias	228
Tab. 51. Correlaciones entre test iniciales	230
Tab. 52. Correlaciones entre test finales.....	230

ABREVIATURAS

HE	Habilidades Espaciales / Habilidad Espacial
DAT-SR	<i>Differential Aptitude Test: Spatial Relations</i>
PSVT:R	<i>Purdue Spatial Visualization Test: Visualization of Rotations</i>
MCT	Mental Cutting Test
P1	Primera prueba evaluable de la asignatura (Modelado y planos)
P2	Segunda prueba evaluable de la asignatura (Geometría - poliedros)
P3	Primera prueba evaluable de la asignatura (Geometría - superficies)
PAU's	Pruebas de Acceso a la Universidad
WM	Working Memory

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Investigadores y psicólogos afirman que la inteligencia está integrada por una serie de factores: verbal, numérico, razonamiento, espacial, memoria...Diferentes tendencias han discrepado sobre cuáles son estos factores. De lo que no cabe duda es que la habilidad espacial es un componente de la inteligencia. Se ha demostrado que es fundamental para el éxito académico y profesional de disciplinas STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) y que puede desarrollarse con el entrenamiento adecuado (Uttal y otros, 2013).

Este trabajo surge a partir de la actividad docente de esta autora en Expresión Gráfica en Ingeniería. Desde el año 1996 hasta 2012 en la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Industrial y Aeronáutica en Terrassa (ETSEIAT) de la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), y desde entonces, en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona (ETSEIB) de la misma universidad.

La investigación partió de la inquietud por desarrollar las habilidades espaciales de los estudiantes de ingeniería en el contexto de la asignatura de Expresión Gráfica. Se evidencia con frecuencia que los estudiantes con pobre capacidad de visión espacial presentan dificultades para superar con éxito la asignatura. Pero, de la misma manera, se comprueba que esta capacidad puede desarrollarse.

Las nuevas tecnologías y la reducción de horas que han sufrido las asignaturas han promovido cambios importantes en sus contenidos y metodología. Estos cambios han afectado muy especialmente a la asignatura de Expresión Gráfica. La preocupación del profesorado por conseguir que los estudiantes adquieran las habilidades espaciales necesarias ha aumentado y han surgido en los últimos años numerosas investigaciones relacionadas, entre ellas la que aquí se presenta.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1 CONTEXTO

LA HABILIDAD ESPACIAL EN EL CONTEXTO DEL ESPACIO EUROPEO DE EDUCACIÓN SUPERIOR (EEES)

Los planes de estudios adaptados al EEES presentan modificaciones importantes respecto a los planes de estudios anteriores. Uno de los aspectos más relevantes es que hay que dotar al alumno de competencias necesarias para su desarrollo académico y profesional. *“La educación universitaria debe ceñir sus objetivos al desarrollo de la capacidad de empleo a través de la*

adquisición de competencias necesarias para promover, a lo largo de toda la vida, la creatividad, la flexibilidad, la capacidad de adaptación y la habilidad para aprender a aprender y a resolver problemas.” (Ochoa de Eríbe, 2005).

Algunas de estas competencias son transversales en todas las asignaturas y grados. Otras son específicas para cada titulación. Según orden ministerial¹, las titulaciones de ingeniería tienen que dotar a los estudiantes de *“Capacidad de visión espacial y conocimiento de las técnicas de representación gráfica, tanto por métodos tradicionales de geometría métrica y geometría descriptiva, como mediante las aplicaciones de diseño asistido por ordenador”*. Esta competencia debe desarrollarse en las asignaturas de Expresión Gráfica, que ha experimentado una importante reducción en número de créditos.

La adaptación al EEES modifica el proceso de enseñanza-aprendizaje. La enseñanza práctica asume mayor relevancia, es ahora menos teórica y más adaptada a la realidad tecnológica. Se reducen los créditos presenciales. Las clases magistrales pierden su importancia y el alumno, que adquiere mayor protagonismo, debe aprender a partir de la experiencia.

INFLUENCIA DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA INGENIERÍA

Las nuevas tecnologías han afectado de forma muy especial la ingeniería gráfica. La posibilidad de trabajar en 3D ha modificado el proceso productivo y ha contribuido también a mejorar la fase del diseño. El CAD 3D ha revolucionado también la docencia de la ingeniería gráfica. Ahora es posible prescindir de conocimientos profundos sobre sistemas de representación, hecho que implica un cambio en el desarrollo de la capacidad espacial.

Hasta hace unos años las asignaturas de expresión gráfica en ingeniería se basaban principalmente en la geometría descriptiva y en la normalización industrial. La geometría descriptiva, por medio de los sistemas de representación, estudia la forma de representar en dos dimensiones los objetos tridimensionales. Esta materia exigía un estudio profundo de las formas y relaciones espaciales, ya que cualquier objeto o conjunto, por muy complicado que fuera, debía dibujarse en papel por medio de proyecciones.

Los programas existentes en el mercado para modelar los objetos en tres dimensiones, han condicionado que la geometría descriptiva pierda en buena parte su sentido. El objeto o

¹ BOE 18 de febrero - Orden CIN/311/2009, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Industrial y BOE 20 febrero 2009 – Orden CIN/351/2009, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial

conjunto se modela en 3D y, si hace falta, se grafían las proyecciones necesarias (en aplicaciones del mismo programa) para su representación en papel.

Continúa siendo esencial un alto conocimiento de geometría para el modelado y diseño, comprender los sistemas de representación para definir las proyecciones adecuadas y conocer la normalización industrial para aplicarla en las representaciones.

Es posible que en un futuro la representación plana no sea necesaria; ahora ya se prescinde de ella en algunos entornos. La normalización industrial debería revisarse continuamente para adaptarse a las nuevas tecnologías y el croquis a mano alzada debería adquirir relevancia. Los alumnos están completamente habituados al teclado y ratón y no utilizan el lápiz para pensar. En la fase creativa, el croquis ayuda a procesar las ideas porque ofrece grandes ventajas, como la inmediatez y la expresividad que permite el trazo manual, mucho más suelto y ágil que el ordenador.

HABILIDAD ESPACIAL Y EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA INGENIERÍA

No hay consenso en la literatura sobre los diferentes componentes de las habilidades espaciales. Sin embargo, parece haber acuerdo sobre la existencia de dos tipos: *Visualización espacial* (capacidad de imaginar y transformar mentalmente la información espacial) y *orientación espacial* (capacidad de imaginarse uno mismo o una configuración desde diferentes perspectivas) (Hegarty y Waller, 2005; Uttal y otros, 2013).

Los proyectos arquitectónicos y de ingeniería se basan en la visualización espacial. El proyectista debe “visualizar” en todo momento las formas y relaciones entre elementos que configuran el conjunto espacial que crea. Las diferentes fases del proceso proyectual se plasman en las representaciones gráficas adecuadas que permiten avanzar en el proceso de creación y generar el resultado final.

El profesorado de asignaturas gráficas detecta a menudo la dificultad de algunos alumnos, a veces aventajados en otras materias, en interpretar dibujos y relacionarlos con los objetos que representan. Es necesario identificar estos puntos débiles y proponer metodologías para solventarlos. *“El objetivo de la asignatura no sólo es dotar a los estudiantes de conocimientos teóricos sobre Geometría y dibujo, sino de incrementar su percepción espacial, una de las siete inteligencias y la más imprescindible y vital en la formación de cualquier ingeniero, que en los últimos años no se potencia desde la enseñanza preuniversitaria con la intensidad necesaria”* (Rubio, Suárez, Gallego, Martín y Pérez del Amo, 2005).

Los cambios mencionados (adaptación al EEES y a las nuevas tecnologías), han obligado a modificar la programación de las asignaturas de Expresión Gráfica en contenidos, objetivos y metodología. El ingeniero necesita comunicarse continuamente con un lenguaje gráfico que debe dominar y la capacidad de visión espacial debe ser un tema fundamental a desarrollar en estas asignaturas.

Ya se ha comentado que en los antiguos programas de Expresión Gráfica, el estudio profundo de geometría descriptiva obligaba a realizar complicados ejercicios que, por fuerza, desarrollaban la inteligencia espacial. Los profesores no se planteaban demasiado cómo desarrollarla porque quedaba implícita en el proceso. En los nuevos grados, la geometría descriptiva se ha reducido a mínimos.

La cantidad de estudios desarrollados en los últimos años sobre las habilidades espaciales, evidencian la inquietud de los docentes sobre el tema. Es sorprendente el gran número de publicaciones relacionadas con esta cuestión y vale la pena seguir trabajando en esta línea de investigación. Se ha demostrado que el hecho de cursar asignaturas de expresión gráfica, mejora el rendimiento de la capacidad espacial. Se ha investigado sobre metodologías que potencian las habilidades espaciales y se han desarrollado herramientas para este fin.

1.1.2 ANTECEDENTES

ESTRATEGIAS PARA DESARROLLAR LAS HABILIDADES ESPACIALES

Los estudios realizados en los últimos años han utilizado, desarrollado y analizado diferentes estrategias para mejorar el rendimiento de la capacidad espacial: ejercicios de geometría descriptiva, croquis, modelado en 3D, trabajar con piezas manipulables, realidad aumentada, aplicaciones web, videojuegos... (Capítulo 2, pág.96)

Parece que está demostrado que los videojuegos desarrollan las habilidades espaciales (en adelante HE). ¿Puede deducirse que las nuevas generaciones tienen más desarrollada dichas habilidades? La sensación que se tiene con los alumnos no es esa (no se ha encontrado ninguna publicación relacionada con la evolución de las HE en los últimos tiempos). Muchos de ellos no han cursado la asignatura de dibujo. ¿Es posible que cursar asignaturas gráficas sea la mejor forma de desarrollar la habilidad espacial? O quizás es un problema de lenguaje y ciertas habilidades espaciales, como relacionar una representación plana con el objeto tridimensional que representa, se adquieren con un proceso de adaptación al tipo de proyección.

Algunos autores consideran que el modelado en 3D es suficiente para desarrollar la habilidad espacial. Pero sorprende a menudo que alumnos con un alto dominio de modelado en 3D no reconozcan las proyecciones de un objeto. O aplican donde no deben una verdadera magnitud. Quizás es un problema de razonamiento espacial, de hábitos, de reflexión. O ¿son diferentes habilidades espaciales?

¿Realmente los ingenieros tienen más habilidades espaciales que en otras disciplinas? ¿Por qué los alumnos repetidores evolucionan poco? ¿Hasta qué punto puede desarrollarse esta habilidad? ¿Cuál es la mejor metodología para incrementar el rendimiento de la habilidad espacial? Si las estrategias son atractivas para el alumno, éste estará motivado, trabajará más y por tanto, conseguirá evolucionar mejor. Pero no hay que olvidar que se deben impartir unos conocimientos sobre geometría y dibujo normalizado. Es necesario programar actividades que unifiquen el aprendizaje de conocimientos con la adquisición de habilidades.

El nivel inicial de habilidad espacial en los alumnos de nuevo acceso en ingenierías es muy heterogéneo. A las diferencias individuales existentes se añade, como ya se ha comentado, que muchos de ellos no han cursado asignaturas de dibujo. Varios estudios demuestran que, con las estrategias adecuadas, la habilidad espacial mejora y que cuanto más bajo es el rendimiento inicial, más puede mejorar. Sería conveniente impartir unos cursos intensivos al inicio de curso, de corta duración, enfocados a mejorar la habilidad espacial, dirigidos a los estudiantes con mayores deficiencias en este ámbito (Martín-G., Martín-D., Saorín, Contero y Navarro, 2009).

MEDICIÓN DE LAS HABILIDADES ESPACIALES EN LOS INGENIEROS

La falta de acuerdo sobre los diferentes factores de las HE, implica discrepancias en cómo se miden. La mayoría de los investigadores han empleado una o dos pruebas. A nivel nacional, en general, se ha utilizado un test de Rotación Mental (*MRT*) y un test de Relaciones Espaciales (plegado mental) de la batería de Test de Aptitudes Diferenciales (*DAT-SR*). Algunos autores consideran que estas pruebas quizás no son del todo adecuadas y proponen como futuras líneas de investigación profundizar en este tema. Por ejemplo; Saorín Pérez (2006), Torner (2009) y Martín Gutiérrez (2010).

Torner (2009) deducía que el test MRT no parece ser un buen instrumento de medida, debido a su falta de relación con las notas de la asignatura de Expresión Gráfica. Sin embargo, demostraba una clara correspondencia con el test DAT, especialmente en la prueba que evalúa el conocimiento de geometría espacial. Este hecho le inducía a afirmar que vale la pena aumentar las actividades didácticas relacionadas con la geometría del espacio (Torner, Alpiste y Brigos, 2014).

Se han realizado algunas investigaciones para desarrollar nuevos test psicométricos, más enfocados a las necesidades de los ingenieros, con variedad de ejercicios (Sutton y Williams 2008), pero no se ha vuelto a publicar nada sobre ellos. La elección de las pruebas a aplicar en esta tesis, se condicionó a poder comparar los resultados con otros estudios realizados, además de evaluar diferentes aspectos de la habilidad espacial.

Es importante considerar todas las variables que puedan influir en las habilidades espaciales para extraer deducciones interesantes de la investigación. Prácticamente todas las investigaciones demostraron que los hombres obtuvieron mejores puntuaciones que las mujeres en las pruebas de HE, especialmente en la tarea de rotación mental MRT. Hay otras variables que influyen: edad, estudios previos de dibujo, uso de videojuegos, aspectos socioculturales....

1.2 JUSTIFICACIÓN

En el contexto planteado en este capítulo, se ha comentado la importancia de las habilidades espaciales para la ingeniería, su relación con la ingeniería gráfica y los cambios experimentados en la materia motivados por las nuevas tecnologías y las adaptaciones a los planes de estudios de EEES.

En los antecedentes se ha explicado que han surgido numerosas investigaciones relacionadas con el desarrollo de las HE. Estas investigaciones se han centrado principalmente en cuáles son las habilidades espaciales, cómo medirlas y cómo desarrollarlas.

Se han creado diferentes materiales, cursos o herramientas (específicos o incluidos en la asignatura), para potenciar el desarrollo de las habilidades espaciales. La validez de estas propuestas se basa en su medición antes y después de realizar la actividad programa. Continuando con esta línea de investigación, parece importante saber qué medidas pueden evaluar mejor las habilidades espaciales requeridas en los estudiantes de ingeniería, en concreto en la ingeniería gráfica.

Debido a que no hay consenso sobre los diferentes componentes de las HE, no es posible definir cuáles son más importantes para el éxito académico y profesional en ingeniería. La selección de diversas medidas que evalúen diferentes HE permitirá averiguar, al menos, la importancia de las habilidades en tareas espaciales concretas. La visualización espacial de los estudiantes de ingeniería es importante para su éxito profesional, por lo tanto, la evaluación de esta habilidad es esencial (Németh, 2007). Además puede servir para detectar al inicio de

curso los estudiantes con posibilidades de fracasar en la asignatura, y programar entrenamientos especiales para ellos.

Por otro lado, si la validez de un curso o herramienta programados para mejorar las HE se valora a partir de esas pruebas, es importante averiguar cuáles son las estrategias más eficientes en su resolución. Podría deducirse que el entrenamiento para fomentar dichas estrategias puede conducir a desarrollar las habilidades espaciales necesarias. La ejecución de una tarea está relacionada con las estrategias utilizadas y su mejoría implica cambios en dichas estrategias (Dunning y Holmes, 2014).

El conocimiento de qué habilidades espaciales están más relacionadas con el éxito en la ingeniería gráfica, y qué estrategias cognitivas están relacionadas, permite definir unos criterios para enfocar la programación de actividades que, además de cubrir la adquisición de conocimientos necesarios, potencie el desarrollo de esas habilidades.

El análisis de las estrategias empleadas en la resolución de las pruebas y su relación con otras variables, como la influencia de su práctica y entrenamiento, ayuda a programar actividades para gestionar mejor la información y elegir la estrategia más adecuada (Peña, Contreras, Shih, Santacreu y otros, 2008). Además la enseñanza de estrategias espaciales adecuadas puede ayudar a los estudiantes a desarrollar sus habilidades espaciales y a crear un repertorio de enfoques para resolver problemas de ingeniería (Strasser y otros, 2010; Gluck y Fitting, 2003; Hsi y otros, 1997).

1.3 OBJETIVOS

El objetivo general es proponer actividades en la asignatura Expresión Gráfica en Ingeniería, enfocadas a potenciar el desarrollo de las habilidades espaciales de los estudiantes, además de proporcionar la adquisición de contenidos necesarios.

Objetivos específicos:

- Conocer la investigación relacionada con las habilidades espaciales (qué son, qué factores las componen, cuáles afectan al éxito en ingeniería, cómo se miden, qué estrategias las desarrollan.....) En especial en estudios realizados en el ámbito de la educación superior en ingeniería
- Identificar qué habilidades espaciales están más relacionadas con la ingeniería gráfica.
- Seleccionar las pruebas estándar que mejor valoren las HE identificadas y permitan la comparación con otros estudios.
- Identificar las metodologías desarrolladas para potenciar las HE
- Relacionar las diferentes HE analizadas
- Determinar si las pruebas empleadas pueden ayudar a predecir el resultado académico de los diferentes bloques temáticos de Expresión Gráfica
- Relacionar las HE con las variables demográficas de los alumnos (género, haber cursado dibujo...)
- Analizar si la metodología y programación de la asignatura es óptima para desarrollar las HE de los estudiantes.
- Deducir qué parte de la asignatura desarrolla mejor las HE
- Deducir qué estrategias empleadas en la resolución de las pruebas aplicadas son más óptimas.
- Definir criterios para programar actividades que fomenten el desarrollo de las HE.

1.4 ACOTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se ha centrado en las habilidades espaciales, con el objetivo principal de potenciarlas de la mejor forma posible en la asignatura Expresión Gráfica. Se han analizado las habilidades relacionadas con la ingeniería gráfica, sin entrar en otros ámbitos profesionales de ingeniería. Se proponen unos criterios para programar actividades que fomenten su desarrollo y que podrían afectar a los contenidos impartidos. Pero no se ha intervenido en el programa de

la asignatura ni se ha estudiado qué debería enseñarse actualmente en las asignaturas de gráficos en ingeniería. Abordar este tema sería otro trabajo de investigación.

A partir de la revisión de la literatura, se han seleccionado las pruebas de HE estándar que se aplican en esta investigación (DAT-SR, PSVT:R y MCT). Su elección se justifica en el capítulo 3 (Procedimiento experimental, pág.143). A pesar de que la mayoría de los estudios existentes se centran en una o dos medidas, se han seleccionado tres. El hecho de evaluar tres habilidades espaciales permite estudiar de forma más amplia su relación con la ingeniería gráfica, sin centrarse en una HE en concreto. Posibilita además analizar las relaciones entre ellas, dando un paso más en la investigación sobre el conocimiento de los diferentes componentes de la HE.

La investigación bibliográfica ha permitido también estudiar las diferentes metodologías empleadas para desarrollar las habilidades espaciales y analizar su efectividad.

Se decidió realizar el trabajo de campo con tres grupos de estudiantes que cursaban Expresión Gráfica en segundo cuatrimestre del curso 2014-2015. Suponían un total de 109 alumnos. La autora de este trabajo era profesora de estos grupos de alumnos. El hecho de pasar las tres pruebas en clase (20 o 25 minutos c/u) al principio y final de curso, reduce el número de horas presenciales disponible, ya de por sí muy ajustado para impartir todo el programa de la asignatura. Por este motivo se optó por no incluir otros grupos en la investigación.

La revisión bibliográfica ha sido constante en el proceso de investigación. Una vez planteadas las cuestiones que se exponen a continuación y tras la obtención de resultados, se ha intentado relacionarlos con otras investigaciones existentes, con el fin de interpretarlos correctamente.

1.5 CUESTIONES PLANTEADAS

A partir del trabajo experimental, se pretende dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Existe correlación entre las diferentes pruebas de HE estudiadas: DAT-SR (plegado mental), PSVT:R (rotación mental) y MCT (corte mental de un sólido por un plano)?
- ¿Existe correlación entre las HE estudiadas y las variables demográficas de los estudiantes (género, haber cursado dibujo...)?
- ¿Qué prueba (principio de curso) predice mejor el resultado académico de la asignatura Expresión Gráfica?
- ¿Qué prueba (final de curso) valora mejor las HE requeridas en expresión gráfica?

- ¿Qué bloque temático de la asignatura potencia mejor el desarrollo de las HE (o está más relacionado)?
- ¿Qué estrategias son más eficientes en la resolución de las pruebas espaciales analizadas?
- ¿Qué características deben cumplir las actividades programadas en la asignatura para fomentar el desarrollo de las HE?

1.6 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

En este trabajo se ha optado por utilizar el término "*habilidad espacial*" más que "*capacidad espacial*", siguiendo la línea de los investigadores españoles en este campo. El diccionario de la Real Academia Española define la *capacidad* como aptitud, talento, cualidad que dispone a alguien para el buen ejercicio de algo. La *habilidad* es la capacidad y disposición para algo.

Sánchez Carlessi y Reyes Romero (2003) consideran que una persona está "capacitada para algo" porque dispone de cierta aptitud, destreza y habilidad para desarrollarlo. La aptitud es una disposición innata. La habilidad se organiza sobre la base de la aptitud y requiere aprendizaje y entrenamiento para poder concretarse. La destreza comprende las habilidades motoras (Martín Gutiérrez, 2010). La competencia es la habilidad aprendida para realizar una tarea, deber o rol adecuadamente. Un alto nivel de competencia es un prerrequisito de buena ejecución.

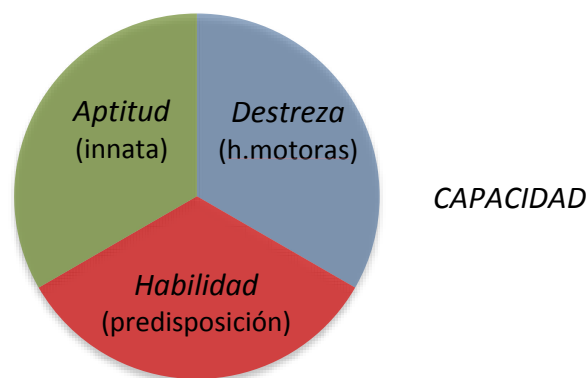


Fig. 1 Componentes de Capacidad. Teoría de Sánchez y Reyes, 2003

En cuanto que las habilidades requieren aprendizaje, se emplea en general el término "*habilidad espacial*". En algunos casos, se emplea "*capacidad espacial*", ya que está

relacionada con la habilidad. Se utiliza a menudo “*habilidades espaciales*”(en plural), porque la habilidad espacial está compuesta de varias componentes.

Los investigadores del grupo DEHAES (Martin-D., Martin-G., Saorín, Contero y Navarro, 2008) definen la *habilidad espacial* como “*La habilidad de manipular mentalmente los objetos y sus partes en un espacio bidimensional y tridimensional*”.

Se denominarán indistintamente *pre-test* o *test inicial* a las pruebas realizadas al principio de curso y *pos-test* o *test final* a las realizadas al final de curso (después de cursar Expresión Gráfica).

El aprendizaje es el proceso a través del cual se adquieren o modifican habilidades, destrezas, conocimientos, conductas o valores como resultado del estudio, la experiencia, la instrucción, el razonamiento y la observación (Wikipedia)

1.7 METODOLOGÍA

Esta tesis se ha estructurado en tres líneas de investigación: investigación documental, investigación de campo 1 e investigación de campo 2.

Investigación documental: Revisión bibliográfica y definición del marco teórico: Qué es la habilidad espacial, que factores la componen, variables condicionantes, cómo se miden, cuáles están más relacionadas con la ingeniería y la expresión gráfica, cómo pueden desarrollarse, qué estrategias se emplean en la resolución de test....Se realizó la búsqueda en artículos publicados, actas de congresos y tesis doctorales.

Investigación de campo 1: Encuesta de variables demográficas y evaluación de tres habilidades espaciales en los alumnos antes y después de cursar la asignatura. Se analizaron los resultados en cada una de las pruebas, relaciones entre ellas, relación con las variables demográficas, mejorías después de cursar la asignatura y relación con evaluaciones en diferentes temas de la asignatura. A final de curso se realizó una encuesta de opinión a los alumnos implicados.

Puede considerarse una investigación cuasi-experimental. Cook (1983) define los cuasi-experimentos como estudios empíricos que no implican asignación aleatoria de las unidades experimentales (Lasa y Iraeta, 2002). En este caso, la investigación se centró en alumnos matriculados en la asignatura Expresión Gráfica en la ETSEIB.

Después de un primer análisis de resultados de los test iniciales, se seleccionó el que se preveía que pudiera tener más relación con los requisitos de la asignatura (MCT). Se amplió la población a otros estudiantes de ingeniería de la UPC que cursaban asignaturas gráficas y a otra población exterior heterogénea, vía on-line. La finalidad era contrastar resultados entre unos y otros.

Investigación de campo 2: Entrevistas personales a alumnos para averiguar las estrategias que empleaban en la resolución de las pruebas espaciales. Se analizaron las correlaciones entre estrategias empleadas con los resultados en los test para averiguar cuáles eran más óptimas.

Podría definirse esta segunda investigación de campo como un estudio piloto. Martyn Shuttleworth² define un estudio piloto como una herramienta científica estándar, que permite que los científicos lleven a cabo un análisis preliminar antes de iniciar un experimento o estudio a gran escala. El número de la muestra (36) y la poca bibliografía encontrada sobre estudios similares, ha llevado a considerarlo un estudio piloto.

El proceso de trabajo puede resumirse en las siguientes fases:

- Revisión de la literatura
- Programación del trabajo de campo y experimental
- Trabajo de campo experimental
- Análisis de resultados
- Propuesta de criterios para programar actividades de Expresión Gráfica que, además de impartir los conocimientos necesarios, potencien el desarrollo de las habilidades espaciales.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se realizó una búsqueda bibliográfica de artículos y tesis doctorales y se aplicó el gestor bibliográfico *Mendeley*. A pesar de que se recogieron referencias de estudios en diferentes ámbitos, se incidió en las relacionadas con la investigación en dominios STEM y, muy especialmente, en estudiantes de ingeniería.

La lectura de la bibliografía permitió concretar la investigación que se iba a realizar, conocer los posibles factores condicionantes en las habilidades espaciales, seleccionar las pruebas que se emplearían para medir las habilidades espaciales y contrastar resultados con los de otras investigaciones.

² <https://explorable.com/es/estudio-piloto>

TRABAJO EXPERIMENTAL

Se exponen a continuación las diferentes fases del proceso experimental. Se definen con más detalle en el capítulo 3 (Procedimiento experimental, pág.143)

- Conseguir los test (DAT-SR, PSVT:R y MCT)
- Dar formato a los test (*Google Forms*)
- Programar encuesta de variables (*Google Forms*)
- Programar entrevistas sobre estrategias en la resolución de test (proceso, cuestionarios y calendario)
- Pasar los test al principio de curso (pre-test)
- Hacer un primer análisis de pre-test y seleccionar ítems de diferentes niveles de dificultad para las entrevistas
- Realizar entrevistas para averiguar estrategias en resolución de test
- Pasar los test al final de curso
- Pasar encuesta final de opinión para conocer qué parte de la asignatura consideran los alumnos que ha desarrollado más sus habilidades espaciales
- Análisis de resultados: averiguar qué estrategias son más óptimas en la resolución de los test evaluados, qué relación hay entre ellos, cuál está más relacionado con los requisitos de la asignatura y los diferentes bloques temáticos y qué variables están relacionadas con los resultados.
- Deducir de los resultados anteriores y de la revisión bibliográfica criterios para enfocar actividades que fomenten el uso de habilidades espaciales, además de cubrir los conocimientos necesarios.

En la Fig. 2 se ha representado un esquema del proceso de este trabajo de investigación.

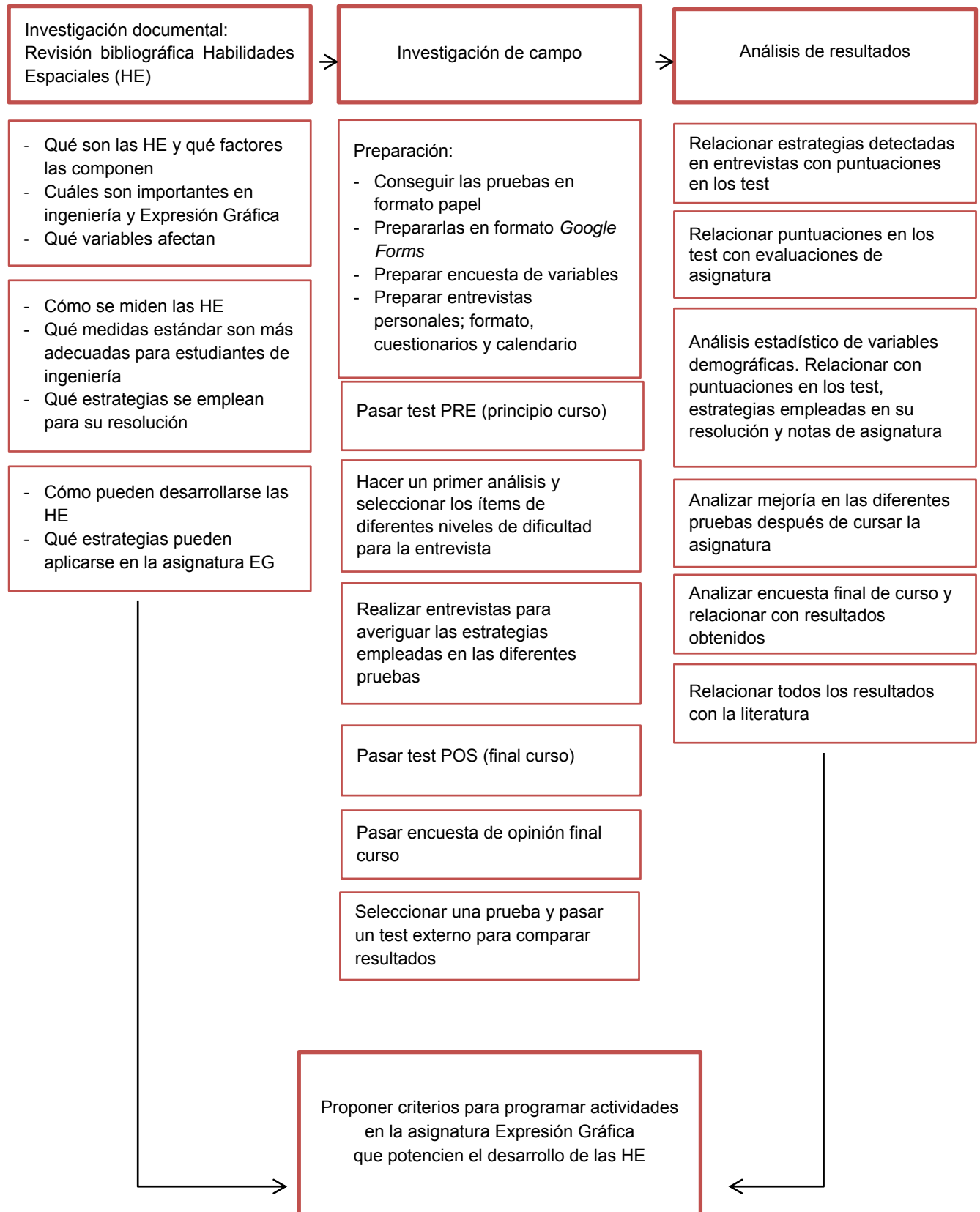


Fig. 2. Metodología

1.8 ESTRUCTURA DE LA TESIS

La tesis se estructura en los siguientes capítulos.

Capítulo 1: Introducción. Se presenta una descripción resumida del trabajo desarrollado en esta tesis. Se exponen los motivos que han conducido a realizar esta investigación, el contexto en el que se enmarca, investigaciones previas relacionadas, objetivos y acotación de esta investigación, metodología y proceso empleado, y contribuciones aportadas.

Capítulo 2: Estudio teórico y revisión bibliográfica. Se revisa la literatura que ha condicionado el desarrollo de este trabajo. Es importante destacar que, a pesar de que la bibliografía consultada en esta investigación comprende un gran número de artículos, ha sido imposible plasmar la numerosa investigación relacionada y es posible que algunos aspectos interesantes hayan quedado en el tintero. El capítulo se estructura en seis apartados correspondientes a los diferentes temas estudiados:

- El primero comprende la concepción de la habilidad espacial como un aspecto de la inteligencia y recoge diferentes definiciones y teorías sobre cuántos factores la componen.
- El segundo apartado analiza las variables que pueden condicionar las diferencias individuales en habilidades espaciales.
- El tercero constata la importancia de las habilidades espaciales en el éxito profesional y académico en la ingeniería y otros dominios STEM.
- El cuarto recoge pruebas estandarizadas que miden las habilidades espaciales, haciendo hincapié en las empleadas en investigaciones con estudiantes de ingeniería en asignaturas gráficas. Se analizan también las diferencias cognitivas entre algunas pruebas.
- El quinto apartado comprende las diferentes estrategias que pueden emplearse en la resolución de tareas espaciales y su eficiencia, variables que pueden afectar al uso de una u otra estrategia y otros factores que pueden condicionar los resultados en las pruebas espaciales.
- En el sexto apartado se describen las metodologías empleadas para mejorar las habilidades espaciales en estudiantes de ingeniería y su efectividad. Se han incluido cursos de entrenamiento, herramientas desarrolladas para tal fin y análisis del efecto de cursar asignaturas gráficas.

Capítulo 3: Procedimiento experimental. Se presenta el proceso previo al trabajo de campo y se describe con detalle el procedimiento empleado.

Capítulo 4: Resultados y discusión. Se exponen los resultados del trabajo experimental, se comentan y se comparan con otras investigaciones. Este capítulo consta de cinco apartados:

- El primero muestra el análisis de los resultados en los test realizados a principio y final de curso.
- El segundo analiza las variables demográficas de los participantes y su relación con los resultados de las pruebas.
- El tercero recoge los resultados de las entrevistas realizadas para averiguar las estrategias empleadas en la resolución de las pruebas espaciales y el análisis estadístico de correlación con los resultados en las pruebas. Se interpretan los resultados y se cotejan con la literatura seleccionada.
- El cuarto refleja la opinión de los alumnos sobre sus habilidades espaciales, su mejora después de cursar expresión gráfica, qué parte de la asignatura ha contribuido más en dicha mejora y cuál les ha resultado más interesante.
- El quinto profundiza en el análisis de las tres pruebas estudiadas. En MCT se comparan los resultados de los estudiantes con población de otras disciplinas.
- El sexto estudia las correlaciones entre las pruebas y las notas de la asignatura: qué prueba espacial puede predecir mejor los resultados de las diferentes evaluaciones de la asignatura y cuál de las realizadas a final de curso reúne mejor los requisitos de la asignatura.
- En el séptimo apartado se analizan las ganancias obtenidas después de cursar Expresión Gráfica: las diferencias de puntuaciones entre las pruebas iniciales y las finales.
- En el octavo se relacionan las diferentes pruebas.

Capítulo 5: Tras el análisis bibliográfico y el análisis de resultados del trabajo experimental, se describen las conclusiones que dan respuesta a las preguntas planteadas al inicio de la *investigación relacionadas con los objetivos.*

Capítulo 6: Por último, en base al capítulo anterior, se proponen unos criterios para programar actividades dentro de la asignatura Expresión Gráfica que potencien el desarrollo de las habilidades espaciales, además de adquirir los conocimientos necesarios. Se incluye un ejemplo de actividades posibles.

Referencias

Anexos: Se incluyen las instrucciones de los test, cuestionarios empleados para las entrevistas, documentos relacionados con la asignatura en la que se realiza esta investigación (pruebas evaluadas, guía de asignatura, enunciado proyecto) y algunas tablas del análisis estadístico.

1.9 CONTRIBUCIONES APORTADAS

Las conclusiones se exponen en el Capítulo 5

El hecho de evaluar tres habilidades espaciales ha permitido estudiar de forma más amplia su relación con la ingeniería gráfica, sin centrarse en una habilidad espacial en concreto. Se han analizado las relaciones entre ellas, dando un paso más en la investigación sobre el conocimiento de los diferentes componentes de la habilidad espacial.

A partir del análisis de las estrategias aplicadas en la resolución de las pruebas, se ha podido confirmar que intervienen otras habilidades que no son puramente espaciales. Posiblemente, la inteligencia espacial no consiste únicamente en “visualización (simulación mental)”, afecta también a un tipo de pensamiento más analítico. Las personas con buenas habilidades espaciales, tienden a aplicar estrategias espaciales, pero recurren a analíticas cuando el problema se complica o se repite, porque suponen menos esfuerzo. Esta conclusión conduce a programar actividades iniciales que permitan pocas estrategias analíticas para desarrollar las habilidades espaciales.

En contra de lo que podía pensarse con la desaparición de la enseñanza de geometría descriptiva, trabajar en CAD 3D puede ser una gran herramienta para potenciar las habilidades espaciales si se programan las actividades adecuadas. Trabajar en 3D supone manipular los objetos, permite análisis geométricos más profundos que en 2D, mayor rapidez (posibilidad de más variedad de ejercicios) y supone una mayor motivación para los alumnos. Eso no implica que pueda prescindirse del croquis. Todo lo contrario, hay que incidir en su importancia y programar actividades que obliguen a ejercitarlo.

DIFUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Villa, A; Alpiste, F; Torner, J. Strategies in spatial ability test. Teaching Engineering Students in Graphic Expression and Computer-aided design. Pilot Study

Se ha enviado un abstract a *The 10th annual International Technology, Education and Development Conference, INTED2016*.

Posteriormente al depósito de esta tesis se enviarán dos artículos a revistas científicas relacionadas

CAPÍTULO 2. ESTUDIO TEÓRICO Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo comprende un resumen de la revisión bibliográfica realizada sobre las habilidades espaciales. Se han incluido los aspectos que se han considerado importantes para abordar y relacionar los datos de este estudio.

Se intentará dar respuesta a las preguntas: ¿Qué son las habilidades espaciales? ¿Es un conjunto de habilidades o una sola habilidad?, ¿Por qué son importantes?, ¿Cómo se miden?, ¿Son innatas?, ¿Qué variables afectan?, ¿Cómo pueden desarrollarse?

Se estructura el capítulo en los apartados siguientes: qué es la habilidad espacial y qué factores la componen, variables que afectan, importancia de la HE en ingeniería, medición, estrategias de resolución de tareas espaciales y metodologías para desarrollar las HE de los estudiantes de ingeniería en el contexto de la Expresión Gráfica. La intención es reflejar, lo más fielmente posible, la situación actual e histórica de la investigación sobre las habilidades espaciales.

2.1 QUÉ ES LA HABILIDAD ESPACIAL Y QUÉ FACTORES LA COMPONEN

La teoría de las *inteligencias múltiples* de Gardner afirma que la inteligencia no es un elemento único, sino que presenta diferentes aspectos relacionados con la globalidad de la mente. Se comporta como un conjunto de habilidades que se pueden mejorar y desarrollar mediante el entrenamiento, siendo claves aspectos como la motivación.

2.1.1 MÚLTIPLES INTELIGENCIAS

En 1979, la Fundación Bernard van Leer, con objeto de apoyar innovaciones útiles en la educación para beneficiar a los inválidos, pidió a la Escuela de Educación para Posgraduados de Harvard que evaluara el estado del conocimiento científico referente al potencial humano y su logro. El primero de los libros publicados, en 1983, fue *“Frames of Mind. The Theory of Multiple Intelligences”* de Howard Gardner, que dirigió dicha investigación.

En el prólogo del libro que se publicó en el décimo aniversario de la primera publicación, Gardner (1994) escribió:

“La primera generación de psicólogos de la inteligencia, como Charles Spearman (1927) y Lewis Terman (1975), tendía a considerar que la mejor manera de juzgar la inteligencia era como una capacidad general, única, para formar conceptos y resolver problemas. Buscaban

demostrar que un conjunto de resultados de las pruebas reflejaba un solo factor subyacente de "inteligencia general". Quizás era inevitable que se cuestionara este punto de vista; así, a lo largo de los años, psicólogos como L. L. Thurstone (1960) y J. P. Guilford (1967) sostuvieron la existencia de varios factores o componentes de la inteligencia. En el sentido más general, "Frames of Mind" es una contribución a esta tradición, aunque difiere en gran medida de las fuentes a las que se remite... He basado la teoría de Inteligencias Múltiples (I.M.) sobre testimonios neurológicos, evolucionistas y transculturales."

Define la inteligencia como «la capacidad de resolver problemas o de crear productos que son valorados en uno o más contextos culturales». Cuestiona algunos hechos fundamentales de la mayoría de las teorías de la inteligencia: sólo se fijan en la resolución de problemas e ignoran la creación de productos; parten del supuesto de que la inteligencia es evidente y apreciada en cualquier lugar, sin tener en cuenta lo que se valora en unas culturas determinadas y en unas épocas concretas.

Casi dos décadas después, Gardner (2011) define una inteligencia como «un potencial biopsicológico para procesar información que se puede activar en un marco cultural para resolver problemas o crear productos que tienen valor para una cultura». Este modesto cambio en la formulación es importante porque indica que las inteligencias no son algo que se pueda ver o contar: son potenciales (neurales) que se activan o no en función de los valores de una cultura determinada, de las oportunidades disponibles en esa cultura y de las decisiones tomadas por cada persona y/o su familia, sus enseñantes y otras personas.

En 1998, Goleman definió la Inteligencia Emocional. Afirmaba que nuestro mundo había ignorado en gran medida un conjunto enormemente significativo de aptitudes y capacidades: las relacionadas con las personas y las emociones. En particular, Goleman hablaba de la importancia de reconocer la propia vida emocional, de regular los propios sentimientos, de comprender las emociones de los demás, de ser capaz de trabajar con otros y de sentir empatía hacia ellos.

Ha habido otros psicólogos que han llamado la atención sobre aspectos de la inteligencia no estudiados hasta ahora. Por ejemplo, David Olson, de la Universidad de Toronto, ha destacado la importancia de dominar distintos medios (como los ordenadores) o sistemas de símbolos (como materiales escritos o gráficos) y ha redefinido la inteligencia como la «capacidad para el empleo de un medio».

Gardner escribió: "Ahora todo indica que el cerebro es un órgano muy diferenciado en el que una serie de capacidades específicas están vinculadas con unas redes neurales concretas. Desde esta perspectiva, tiene mucho más sentido concebir el cerebro como si albergara una

cantidad indeterminada de capacidades intelectuales cuya relación mutua es necesario clarificar.

Sobre las Inteligencias Múltiples: *“Las personas poseen una amplia gama de capacidades y la ventaja de una persona en un área de actuación no predice sin más que posea una ventaja comparable en otras áreas”*.

Gardner opina que si las subinteligencias o “núcleos” están separados entre sí, tienden a entrar en acción conjuntamente y, en consecuencia, su agrupamiento está justificado. En otras palabras, aunque hubiera alguna justificación científica para desagregar estos «núcleos», todo parece indicar que la cantidad de inteligencias no debe ser muy grande.

En Frames of Mind propuso la existencia de siete inteligencias separadas en el ser humano. Es una lista provisional y cada una de ellas posee sus “subinteligencias”

Las dos primeras son las que normalmente se han valorado en la escuela tradicional y predominan en las pruebas de inteligencia.

- *Inteligencia lingüística*: Sensibilidad especial hacia el lenguaje hablado y escrito, capacidad para aprender idiomas y emplear el lenguaje para lograr determinados objetivos (abogados, oradores, escritores, poetas...).
- *Inteligencia lógico-matemática*. Capacidad de analizar problemas de una manera lógica, llevar a cabo operaciones matemáticas y realizar investigaciones de una manera científica (matemáticos, lógicos, científicos...)

Las tres siguientes se han relacionado con las artes:

- *Inteligencia musical*: Capacidad de interpretar, componer y apreciar pautas musicales.
- *Inteligencia corporal-kinestésica*: Capacidad de emplear partes del propio cuerpo (como la mano o la boca) o su totalidad para resolver problemas o crear productos (bailarines, actores, deportistas, artesanos, cirujanos, científicos de laboratorio, mecánicos, técnicos..)
- *Inteligencia espacial*: capacidad de reconocer y manipular formas en espacios grandes (navegantes, pilotos...) y en espacios más reducidos (escultores, cirujanos, jugadores de ajedrez, artistas gráficos, arquitectos...). Las distintas utilizaciones de la inteligencia espacial en diferentes culturas muestran claramente que un potencial biopsicológico se puede utilizar en ámbitos que han evolucionado con distintos fines.

Diferencia también inteligencias personales:

- inteligencia interpersonal (profesores, médicos, líderes religiosos y políticos, actores...)

- inteligencia intrapersonal: capacidad de comprenderse, de tener un modelo útil y eficaz de uno mismo —que incluya los propios deseos, miedos y capacidades— y de emplear esta información con eficacia en la regulación de la propia vida.

Posteriormente, en 1995, Gardner incluyó en la lista la *inteligencia naturalista* que permite detectar, diferenciar y categorizar los aspectos vinculados a la naturaleza.

En opinión de Gardner, mientras que Sócrates veía al hombre como un animal racional y Freud destacaba la irracionalidad del ser humano, él describe al ser humano como un organismo que posee un conjunto básico de siete, ocho o una docena de inteligencias. Gracias a la evolución, cada ser humano está equipado con estos potenciales intelectuales que puede movilizar y conectar en función de sus propias inclinaciones y de las preferencias de su cultura. Lo que importa es el empleo de las inteligencias, juntas o por separado, para llevar a cabo tareas.

Cattell (1905 – 1998) propuso la existencia de una inteligencia fluida y una inteligencia cristalizada. Definía la *inteligencia fluida*, como una habilidad heredada para pensar y razonar de un modo abstracto, mientras que la *inteligencia cristalizada* nace de la experiencia.

La *inteligencia fluida* está relacionada con la capacidad de una persona para adaptarse y enfrentar situaciones nuevas de forma ágil, sin que el aprendizaje previo, la experiencia o el conocimiento adquirido supongan una ayuda determinante para su manifestación. La *Inteligencia Cristalizada* es el conjunto de capacidades, estrategias y conocimientos que constituyen el grado de desarrollo cognitivo logrado mediante la historia de aprendizaje de una persona. El potencial de desarrollo intelectual con el que nacemos (inteligencia fluida) logrará un mayor o menor nivel dependiendo de las experiencias educativas que se produzcan durante la vida.

Todos los individuos poseen cada una de estas habilidades en un cierto grado (inteligencias múltiples); los individuos difieren en el grado de capacidad y en la naturaleza de la combinación de estas capacidades... Una teoría así tiene importantes implicaciones educativas y curriculares (Gardner, 2005).

Hacia 1870 Francis Galton empezó a crear pruebas de inteligencia coherentes con la noción, entonces incipiente, de que la mente humana se podía someter a la medición y la experimentación. Desde entonces, han sido innumerables los intentos de encontrar las mejores maneras de definir, medir y cultivar la inteligencia.

En 1912, el psicólogo alemán Wilhelm Stern propuso medir lo que él mismo llamó «cociente de inteligencia», es decir, la proporción entre la edad mental de una persona y su edad

cronológica, proporción que después se debía multiplicar por 100 (siendo ésta la razón de que sea mejor tener un CI de 130 que uno de 70).

Para bien o para mal (en opinión de Gardner), las pruebas de inteligencia se llegaron a considerar una tecnología especialmente útil para seleccionar personal destinado a ocupar determinados puestos académicos o profesionales. En uno de los dichos más famosos sobre las pruebas de inteligencia, el influyente psicólogo de Harvard E. G. Boring declaró: «*La inteligencia es aquello que miden los test de inteligencia*».

2.1.2 HABILIDADES ESPACIALES

Sobre la *inteligencia espacial* Gardner considera que comprende las capacidades para percibir con exactitud el mundo visual, realizar transformaciones y modificaciones de las percepciones iniciales propias, y recrear aspectos de la experiencia visual propia, incluso en ausencia de estímulos físicos apropiados. Es evidente que estas habilidades no son idénticas: un individuo puede ser agudo, por ejemplo, en la percepción visual y tener poca habilidad para dibujar, imaginar o transformar un mundo ausente.

La inteligencia espacial emerge como amalgama de habilidades. Gardner opina que una razón que permite considerar de forma razonable las habilidades espaciales como "un todo" es el hecho de que la práctica en una de estas áreas estimula el desarrollo de las habilidades relacionadas en otras.

Considera que *la operación más elemental es la habilidad para percibir una forma u objeto*. Una forma de medir el desarrollo de esta habilidad es copiando un objeto; las dificultades para lograrlo dan cuenta de las carencias existentes. Un *paso superior es solicitar una vista de cómo se vería el objeto desde un punto de vista* fuera de la posibilidad de la experiencia vivencial, lo que supone rotar y manipular el objeto "mentalmente".

Gardner señala que la inteligencia espacial es una forma de inteligencia involucrada con objetos, pero a diferencia de la lógico-matemática, que tiene una trayectoria de abstracción creciente, la espacial va en el camino inverso, permanece ligada en lo fundamental al mundo concreto y de allí su "poder de permanencia".

La investigación sobre habilidades espaciales se han realizado fundamentalmente en los dominios de psicología (Linn y Petersen, 1985; Wai, Lubinski y Benbow, 2009) y en la educación de dominios STEM, especialmente en gráficos en ingeniería (Leopold, Renata y Sorby, 2001 y 2009; Adanez y Velasco, 2002; Veurink y otros, 2009; Martin, Garcia y Roca, 2013; Melgosa Ramos y Baños, 2013; Torner y otros, 2014).

Se recogen algunas definiciones de habilidades espaciales escritas por investigadores:

Habilidad espacial: habilidad de manipular, rotar, girar o invertir mentalmente figuras presentadas gráficamente (McGee, 1979).

Habilidad espacial: habilidad de manipular mentalmente los objetos y sus partes en un espacio bidimensional y tridimensional (Martin-D. y otros, 2008).

Capacidades espaciales: funciones cognitivas que permiten a las personas enfrentarse eficazmente con las relaciones espaciales, tareas espaciales visuales y orientación de objetos *en el espacio* (Sjölander, 1998).

Capacidad espacial: rendimiento en tareas que requieren: rotación mental de objetos, entender cómo se ven los objetos en diferentes posiciones y conceptualizar cómo se relacionan los objetos entre sí en el espacio. Una parte esencial de la capacidad espacial es la comprensión tridimensional (3D): capacidad para extraer información sobre las propiedades 3D a partir de representaciones en dos dimensiones (2D). Esta habilidad requiere capacidad perceptiva para interpretar lo que se ve, y capacidad espacial para manipular mentalmente representaciones gráficas (Sutton y Williams, 2007).

“El pensamiento espacial implica pensar en las formas y disposiciones de objetos en el espacio y sobre los procesos espaciales, tales como la deformación de objetos, el movimiento de los objetos y otras entidades a través del espacio. También puede involucrar a las representaciones espaciales de entidades no espaciales. Por ejemplo, cuando usamos un organigrama de la estructura de una empresa o un gráfico de evaluación de costes de la sanidad pública. La inteligencia espacial puede definirse como pensamiento espacial adaptativo” (Hegarty, 2010).

2.1.3 COMPONENTES DE LAS HABILIDADES ESPACIALES:

De la misma manera que existen diferentes teorías sobre los componentes de la inteligencia, ocurre con las habilidades espaciales. Como decía Hegarty (2010), para ser eficaces en el entrenamiento de la inteligencia espacial, hay que identificar sus componentes básicos.

McGee (1979) y Maier (1996) clasificaban cinco componentes de habilidades espaciales. En la Fig. 3 pueden verse ejemplos de cada uno de estos componentes:

1. *Percepción espacial*: Capacidad de localizar la posición horizontal o vertical a pesar de información que distraiga.

2. *Visualización espacial*: Capacidad de visualizar una configuración en la que hay movimiento o desplazamiento (interno) de sus partes. Requieren un proceso dinámico.
3. *Rotaciones mentales*: Capacidad de rotar figuras 2D y 3D con rapidez y precisión
4. *Relaciones espaciales*: Capacidad de interpretar una configuración espacial de objetos o partes de un objeto y su relación entre ellos.
5. *Orientación espacial*: Capacidad de orientarse uno mismo física o mentalmente en el espacio.




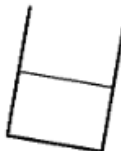
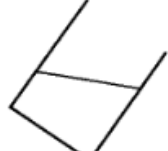
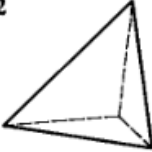
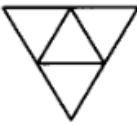
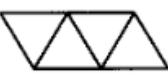
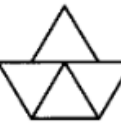

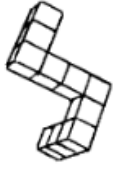





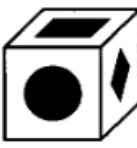


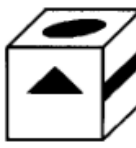





exercise	possible responses			
	a	b	c	d
1 				
2 				
3 				
4 				
5 				

Fig. 3 Ejercicios de los cinco componentes de las Habilidades espaciales. Fuente: Maier, 1996

Linn y Petersen (1985) definían tres categorías en la capacidad espacial, aunque consideraban que podía haber otras categorías posibles.

1. *Percepción espacial*, que puede resolverse de forma eficiente empleando un proceso gravitatorio o kinestésico;
2. *Rotación mental*

3. *Visualización espacial*, que puede resolverse eficientemente mediante un proceso analítico.

Autor	Clasificación de las Habilidades espaciales
(McGee 1979)	Percepción espacial
(Maier 1996)	Visualización espacial
	Rotaciones mentales
	Relaciones espaciales
	Orientación espacial
(Linn & Petersen 1985)	Percepción espacial
	Rotación mental
	Visualización espacial
(Lohman, D.F., Nichols 1990)	Visualización
	Rotación mental
	Orientación espacial
(Carroll 1993)	Visualización
	Rotación mental
(Gluck & Fitting 2003)	Test de capacidad espacial
	Rotación mental
	Orientación y navegación ambiental
(Olkun 2003)	Relaciones espaciales
	Visualización espacial
(Uttal et al. 2013) (Chatterjee, 2008; Palmer, 1978; Talmy, 2000)	Intrínseca Estática
	Intrínseca Dinámica
	Extrínseca Estática
	Extrínseca Dinámica

Tab. 1 Clasificación de Habilidades Espaciales según diferentes autores

Lohman y Nichols (1990) consideraban tres factores de habilidades espaciales: visualización, orientación espacial y rotación mental (rapidez) (Németh, 2007).

Carroll (1993) separaba la visualización de la Rotación Mental. Definía la visualización espacial como el proceso de aprehender, codificar, y manipular mentalmente las formas espaciales tridimensionales

Gluck y Fitting (2003) hablan de tres dominios de cognición espacial que corresponden a tres tipos de investigaciones tradicionales: Test de capacidad espacial (diseñados por psicometristas con el fin de medir la capacidad espacial como un factor de la inteligencia), rotación mental (investigada por psicólogos cognitivos interesados en el procesamiento de información básica) y orientación y navegación ambiental.

Olkun (2003) clasifica las habilidades espaciales en dos:

- *Relaciones espaciales*: Imaginar las rotaciones de objetos 2D y 3D como un solo bloque. Prima la velocidad. Ejemplo: Test de rotaciones 2D y 3D
- *Visualización espacial*: Imaginar las rotaciones de objetos y sus partes. Prima la capacidad, no la velocidad. Ejemplo: plegado mental.

Un gran número de autores aceptan esta última clasificación. Por ejemplo, Saorín Pérez (2006) justificaba su elección de esta opción por la simplicidad que implica y porque existen test reconocidos para medirlas. Por otro lado, el hecho de que muchos investigadores hayan realizado estudios con esta subdivisión y test, permite realizar comparaciones de resultados.

Uttal y otros (2013) proponen una clasificación con diferente enfoque, que surge de la investigación lingüística, cognitiva y de neurociencia. (Chatterjee, 2008; Palmer, 1978; Talmy, 2000). Consideran que las definiciones y clasificaciones anteriores de HE han seguido en general un enfoque psicométrico. Por ejemplo; Carroll (1993), Eliot (1987), Lohman (1988) y Thurstone (1947). Sin embargo, la mayoría de los test de habilidades espaciales no se crearon bajo una teoría clara sobre la capacidad espacial y se han identificado una variedad de factores sobre los que no ha habido consenso.

Parece haber acuerdo consistente para la existencia de una habilidad llamada “*visualización espacial*”, que consiste en la capacidad de imaginar y transformar mentalmente la información espacial.

El apoyo no ha sido tan consistente para otros factores; como “*orientación espacial*” que implica la capacidad de imaginarse uno mismo o una configuración desde diferentes perspectivas (Hegarty y Waller, 2005).

La clasificación de Uttal y otros (2013) se basa en dos distinciones fundamentales: la primera entre *información intrínseca* y *extrínseca*. La intrínseca afecta a lo que normalmente se piensa a la hora de definir un objeto; la especificación de sus partes y la relación entre ellas. La extrínseca se refiere a la relación entre objetos en un grupo; uno en relación a otro o en un marco general. Pone como ejemplo: la información que permite distinguir los rastrillos de las palas en un cobertizo es información intrínseca. Las relaciones espaciales entre estas herramientas y el resto del entorno son información extrínseca.

La segunda distinción es entre *tareas estáticas* y *dinámicas*. Los objetos pueden moverse o ser movidos. El movimiento puede cambiar su especificación intrínseca, como cuando se doblan o se giran en el mismo sitio. En otros casos, el movimiento cambia la posición de un objeto con respecto a otros objetos y/o entorno general. Hegarty y Mayer (2002) y Shephard (2005)

demonstraron que los “visualizadores de objetos” (que sobresalen en habilidades intrínsecas-estáticas en su terminología) son muy distintos de los “visualizadores espaciales” (que sobresalen en habilidades intrínsecas-dinámicas). Por ejemplo, los artistas son muy propensos a ser visualizadores de objetos, mientras que los científicos son muy propensos a ser visualizadores espaciales.

Teniendo en cuenta estas dos clasificaciones y sus combinaciones, pueden clasificarse las habilidades espaciales en cuatro categorías: *Intrínseca Estática*, *Intrínseca Dinámica*, *Extrínseca Estática* y *Extrínseca Dinámica*. (Fig.4 y Tab. 2). Por ejemplo: el reconocimiento de un objeto como un rastrillo implica información intrínseca estática. En contraste, la rotación mental del mismo objeto implica información intrínseca dinámica. Las relaciones entre las ubicaciones en el medio ambiente, o en un mapa, implica información estática extrínseca. Pensando en cómo la percepción de las relaciones entre objetos cambiaría cuando uno se mueve a través del mismo entorno ambiental, implica relación extrínseca dinámica.

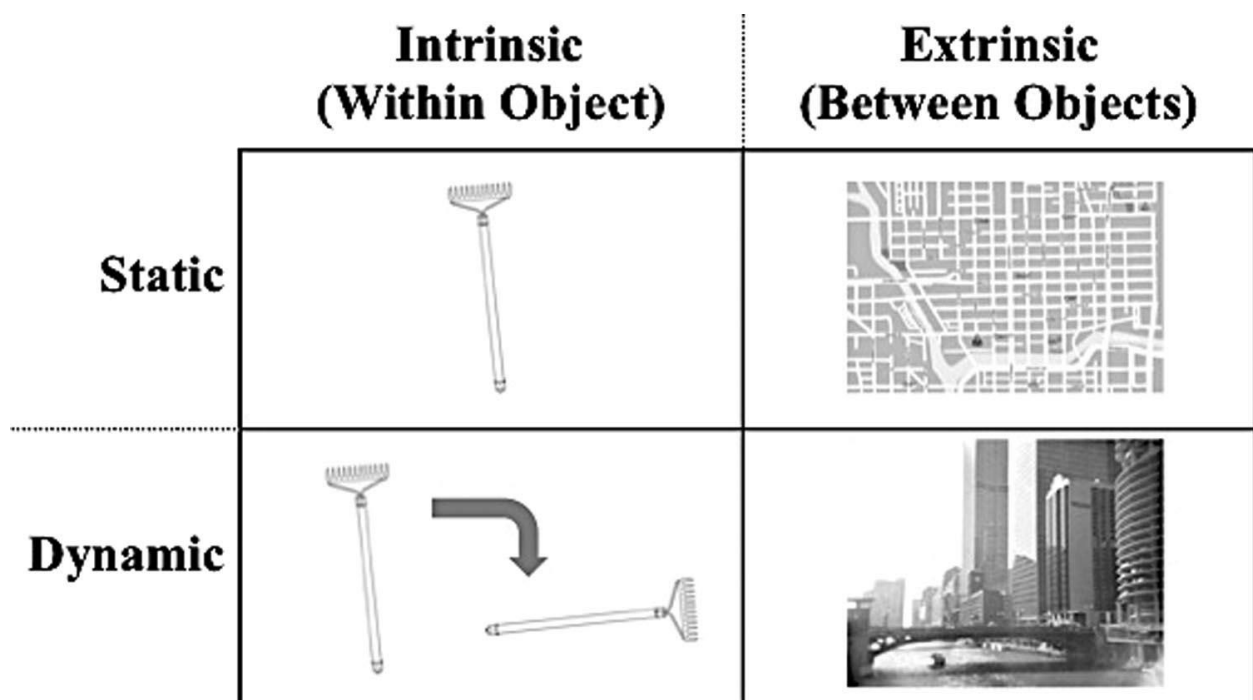


Fig. 4 Clasificación de las Habilidades Espaciales. Ejemplos. Fuente: Uttal et al. (2013)

Spatial skills described by the 2 × 2 classification	Description	Examples of measures	Linn & Petersen (1985)	Carroll (1993)
Intrinsic and static	Perceiving objects, paths, or spatial configurations amid distracting background information	Embedded Figures tasks, flexibility of closure, mazes	Spatial visualization	Visuospatial perceptual speed
Intrinsic and dynamic	Piecing together objects into more complex configurations, visualizing and mentally transforming objects, often from 2-D to 3-D, or vice versa. Rotating 2-D or 3-D objects	Form Board, Block Design, Paper Folding, Mental Cutting, Mental Rotations Test, Cube Comparison, Purdue Spatial Visualization Test, Card Rotation Test	Spatial visualization, mental rotation	Spatial visualization, spatial relations/speeded rotation
Extrinsic and static	Understanding abstract spatial principles, such as horizontal invariance or verticality	Water-Level, Water Clock, Plumb-Line, Cross-Bar, Rod and Frame Test	Spatial perception	Not included
Extrinsic and dynamic	Visualizing an environment in its entirety from a different position	Piaget's Three Mountains Task, Guilford-Zimmerman spatial orientation	Not included	Not included

Tab. 2 Clasificación de las Habilidades Espaciales, medidas asociadas y correspondencia con categorías definidas por otros investigadores. Fuente: Uttal y otros, 2013.

Otros autores han apoyado esta clasificación: Atit y otros (2013), Resnick y Shipley (2013).

Arnheim (1986) en su libro “A Plea for Visual Thinking,”, afirmaba que la mayoría de los psicólogos educativos erróneamente creen que hay una clara dicotomía entre la percepción (pensamiento visual) y el razonamiento (pensamiento cognitivo) (Sorby, 2009).

Hegarty (2010) opina que hay ventajas en la utilización de pruebas de capacidad espacial como punto de partida para examinar el pensamiento espacial porque se han podido investigar los procesos cognitivos involucrados en la realización de esas tareas (Just y Carpenter, 1985). Pero también hay desventajas en limitarse a su estudio, principalmente debido a que la mayor parte de los test de HE se desarrollaron por razones prácticas, como la predicción de aptitudes para diversas ocupaciones y no con un fundamento teórico. Centrarse exclusivamente en estas pruebas, podría conducir a perder aspectos importantes del pensamiento espacial.

Hegarty investiga los ámbitos de especialización que exigen pensamiento espacial (mecánica, química, medicina y meteorología) y analiza los procesos cognitivos en la realización de tareas espaciales en estos dominios.

Sobre la base de estos estudios, Hegarty identifica dos componentes básicos de la inteligencia espacial:

- El primero es la *elección de una estrategia flexible* entre las imágenes mentales (o simulación mental), y formas más analíticas de pensamiento.
- El segundo es la *competencia meta-representacional*, que abarca la capacidad de elegir la representación exterior óptima para una tarea. Con la evolución de las tecnologías de

gráficos por ordenador, el pensamiento espacial adaptativo también implica obtener el mayor partido de ellos.

Aclara que no son los únicos componentes de la inteligencia espacial. Los tipos de pensamiento espacial que estudia excluyen aspectos importantes de la inteligencia espacial relacionados con la orientación.

Comprobó que las tareas espaciales en pruebas psicométricas de capacidad espacial incluyen, además de la estrategia dominante de imágenes mentales, un pensamiento analítico. En tareas espaciales más complejas, en dominios científicos o tecnológicos, el pensamiento analítico adquiere aún más importancia.

La *competencia meta-representacional*, definida por diSessa (2004), incluye la representación óptima para una tarea y la utilización de representaciones externas novedosas, como visualizaciones interactivas. Hegarty identificó grandes diferencias individuales en esta capacidad, cada vez más importante con la evolución tecnológica. Las representaciones externas, como visualizaciones 3D interactivas, se proponen a menudo como formas de aumentar el pensamiento espacial. Pero su uso también depende de la inteligencia espacial.

Harris y otros (2013) analizaron las similitudes y diferencias entre *rotación mental* y *plegado mental* desde varias perspectivas: definiciones, componentes de procesos cognitivos, bases neurológicas, trayectoria de desarrollo, maleabilidad, validez predictiva y propiedades psicométricas. Las dos tareas requieren transformación espacial dinámica de los objetos con respecto a su estructura espacial interna (Intrínseca Dinámica). Sin embargo, tradicionalmente, han sido consideradas dos habilidades muy distintas, basándose principalmente en el análisis factorial de datos psicométricos (Lohman, 1979). Concluyen que son similares en bastantes aspectos. Sin embargo *difieren en que la rotación mental es una transformación rígida y el plegado mental es una transformación no rígida. Además la diferencia de género es mucho mayor en la rotación mental que en el plegado mental.*

Puede hablarse también de las diferencias entre *rotación mental* y *toma de perspectiva*. La rotación mental requiere imaginar el movimiento de un objeto sobre su propio eje mientras que el observador permanece en su lugar. La toma de perspectiva requiere imaginarse uno mismo en movimiento alrededor de un objeto mientras éste permanece en su lugar. Físicamente, ambas acciones proporcionarían la misma información visual, lo que sugiere que no deben ser distintos. Sin embargo, varios estudios han comprobado que son diferentes en muchos aspectos (Hegarty y Waller, 2004; Lohman, 1.979). La rotación mental se aplica a las formas intrínsecas de los objetos y la toma de perspectiva a relaciones extrínsecas entre los objetos.

Algunos investigadores sugieren que en el plegado mental se emplean más estrategias analíticas que en la rotación mental (Lohman, 1979). Las técnicas de imágenes y electroencefalograma (EEG) permiten identificar la actividad neuronal durante la ejecución de la tarea. En el estudio de rotación mental y plegado mental, la investigación en la neurociencia se ha centrado en dos cuestiones: confirmar que estas transformaciones mentales se llevan a cabo como análogas a la manipulación física y explorar el papel de la acción simulada en rotación mental. Los datos para rotación mental sugieren que los procesos motores están a menudo involucrados (Richter y otros, 2000; Tagaris y otros, 1997; Vingerhoets y otros, 2001; Zacks, 2008), lo que implica que las personas pueden simular que están, literalmente, girando las figuras, al menos en cierto grado. En el plegado mental no queda tan claro; serían necesarias nuevas investigaciones para comprobarlo.

Los autores de la investigación se preguntan: ¿El entrenamiento en la transferencia de rotación mental mejora el plegado mental y viceversa? Los resultados de estudios de desarrollo de habilidades espaciales sugieren que la rotación mental y el plegado mental aprovechan una habilidad común que puede ser entrenada. Es posible que se deba al entrenamiento en una componente compartida: la interpretación y codificación de las figuras.

Parece que las dos tareas son muy similares. Quizás la psicometría las ha diferenciado debido a la forma en que las pruebas fueron diseñadas. Lohman (1979) sugería una distinción velocidad / capacidad (*power*) en habilidades espaciales; la rotación mental representa la velocidad y la visualización la capacidad. Afirmaba que esta distinción es relevante en múltiples dominios de la inteligencia. Las pruebas de habilidades de rapidez son bastante simples y pueden ser resueltas con éxito por la mayoría de las personas disponiendo del tiempo suficiente. Las pruebas de capacidad son complejas y difíciles para la mayoría de la gente. Esta distinción, basada en la construcción de las pruebas, quizás no refleja una diferencia en las habilidades, pero sí una evaluación diferente.

Hay una diferencia evidente entre las dos habilidades: la rotación mental muestra una fuerte diferencia de sexo mientras que el plegado mental no (Linn y Petersen, 1985; Voyer y otros, 1995). Una posible explicación podría basarse en que la rotación mental es una transformación rígida, a diferencia del plegado mental.

(Kaufman, 2007) apoya que la habilidad en la tarea de rotación mental evaluada por *Mental Rotation Test* (MRT) es un aspecto importante de la capacidad espacial que debe ser estudiado por separado de otras pruebas de capacidad espacial (Johnshon y Bouchard, 2005).

2.2 VARIABLES CONDICIONANTES

Es importante considerar todas las variables que puedan influir en las habilidades espaciales para extraer deducciones interesantes de la investigación. Prácticamente todas las investigaciones demuestran que los hombres tienen, de media, mejores habilidades espaciales que las mujeres, especialmente en rotación mental. Hay otras variables que influyen: edad, estudios previos de dibujo, uso de videojuegos, aspectos socioculturales....

2.2.1 GÉNERO

Varios autores han documentado la diferencia a favor de los hombres en habilidades espaciales, especialmente en rotación 3D (Linn y Petersen 1985; Voyer y otros, 1995; Maizam Alias y otros, 2002). A pesar de que la diferencia de género en resultados de pruebas espaciales se comprueba en prácticamente todas las investigaciones (aunque no siempre es estadísticamente significativa), las diferencias varían entre unos estudios y otros.

Linn y Petersen (1985) realizaron un meta-análisis para analizar las diferencias de género en habilidades espaciales. Comprobaron que los hombres superaban a las mujeres en las tareas de rotación mental, donde la velocidad de ejecución es un factor importante. Sin embargo, en percepción espacial las diferencias eran mínimas. Harris y otros (2013) informaron que la diferencia a favor de los hombres era mucho mayor en rotación mental que en plegado mental. En opinión de Rafi y otros (2006) las magnitudes de las diferencias de género son leves, moderadas y pronunciadas en la visualización espacial, percepción espacial y rotación mental respectivamente. Otros autores han informado que las mujeres suelen resolver mejor las pruebas de memoria de localización de objetos (Uttal y otros, 2013).

Maeda y Yoon (2013) sugieren que hay al menos cinco factores que pueden condicionar las diferencias de género: biológicos, estratégicos, experienciales, afectivos, y factores de administración de la prueba evaluada.

Estas diferencias se han analizado principalmente en tareas de rotación mental. Las biológicas pueden ser funcionales y morfológicas (Vogel y otros, 2003), hormonales (Collaer y otros, 2007) o genéticas (Harris, 1978).

Algunos autores sugieren que las diferencias sexuales biológicas conducen a diferencias en el procesamiento cognitivo, de manera que hombres y mujeres pueden adoptar distintas estrategias en la resolución de tareas espaciales, lo que puede condicionar un mejor

rendimiento masculino. Los estereotipos negativos de las mujeres sobre su peor capacidad en estas tareas, puede condicionar también su rendimiento (ver pág.90).

Las *experiencias previas espaciales* también pueden influir. Algunas actividades relacionadas con tareas espaciales, que fomentan la habilidad de rotación mental, son más habituales en niños que en niñas. Por ejemplo: los videojuegos (Feng y otros, 2007; Subrahmanyam y Greenfield, 1994), algunos deportes (Moreau y otros, 2012), jugar con juegos de construcción (Lego, Meccano...).

Otros autores justifican algunas diferencias a causa de factores socio-culturales (Fennema y Sherman, 1977), relacionadas también con la experiencia. Medina y otros (1998) examinaron las diferencias de género en capacidad de visualización de estudiantes universitarios en EE.UU. y Brasil. Sobre una muestra muy numerosa (1881 en Brasil y 535 en EEUU). Las diferencias de género fueron significativas en las dos universidades. Encontraron también diferencias significativas relacionadas con la experiencia previa en cursos de dibujo y con haber jugado de niños, o no, con juegos de construcción. Otras variables fueron significativas sólo en una universidad (experiencia laboral, nota de matemáticas). Comprobaron que los hombres eran más propensos que las mujeres a haber participado en aquellas actividades que ayudan a desarrollar habilidades espaciales.

Los teóricos evolucionistas han propuesto que la selección natural de los primeros seres humanos condicionó las diferencias sexuales en algunas habilidades espaciales (Lippa y otros, 2010). Por ejemplo, la especialización de los hombres ancestrales en la persecución, la caza, y lanzamiento de proyectiles pudo favorecer el desarrollo de habilidades espaciales, mientras que la especialización de las mujeres ancestrales en buscar alimento puede haber favorecido el desarrollo de memoria de localizaciones.

Maeda y Yoon (2013) realizaron un meta-análisis para estimar la magnitud de diferencias de género en la habilidad de rotación mental 3D. Dedujeron que las diferencias de género varían en función del tiempo empleado para realizar la prueba puntuada. Cuanto menor es el tiempo, más diferencia hay. Voyer y otros (2004) también encontraron que la adaptación a un límite de tiempo puede afectar más a las mujeres; más propensas a acertar las respuestas si tienen más tiempo para responder.

Las diferencias de género en la memoria de trabajo también se han investigado. La memoria de trabajo (*working memory: WM*), puede definirse como la capacidad de almacenar temporalmente y poseer información "on-line" por un breve período de tiempo, (mientras se están llevando a cabo otras decisiones cognitivas u operaciones) y la capacidad de manipular esa información o usarla para generar la acción (Baddeley, 1986; Goldman-Rakic, 1987; (Duff y

Hampson 2001). La *WM* desempeña un papel crucial en una amplia variedad de actividades cognitivas complejas, incluyendo el cálculo mental, razonamiento y comprensión del lenguaje. Una característica de estas tareas es que dependen de la capacidad para mantener la información relevante de forma fácilmente accesible y, al mismo tiempo, procesar información nueva. A medida que avanza la tarea, se actualiza continuamente la información accesible en la memoria.

Duff y Hampson (2001) sugerían que existe diferencia de género en algunas funciones prefrontales. Comprobaron diferencias en las funciones de la *WM*. Administraron a estudiantes universitarios una tarea de memoria de trabajo espacial y otra de memoria de trabajo verbal. En la espacial (Fig. 5), las mujeres cometieron muchos menos errores y emplearon menos tiempo que los hombres. También hubo diferencia de sexo en la memoria de trabajo verbal a favor de las mujeres.

Sus resultados sugerían que las mujeres eran más eficientes al recordar o hacer el seguimiento de las

localizaciones mientras buscaban a través de la matriz lineal. Los hombres superaron a las mujeres en una prueba de rotación mental y fueron muy similares a las mujeres en otras medidas cognitivas.

Kaufman (2007) comprobó también una diferencia significativa entre hombres y mujeres en *spatial working memory test* (que incluían componentes de procesamiento espacial y verbal). Sin embargo, no encontró diferencias significativas en la memoria espacial a corto plazo o en la memoria de trabajo verbal.

Es especialmente importante conocer el grado de maleabilidad de las habilidades espaciales en ambos sexos. Los resultados del meta-análisis de Uttal y otros (2013) sugieren que aunque los hombres tienden a tener una ventaja en la capacidad espacial, ambos sexos mejoran igual con el entrenamiento, por ejemplo en los estudios de Sorby (2009) y Alias y otros (2002). Otros autores obtuvieron resultados diferentes: Hsi y otros (1997) y Titus y Horsman (2009) informaron que las diferencias de género en tareas espaciales se eliminaron cuando estudiantes universitarios de primer curso con pobres habilidades espaciales participaron en cursos para desarrollarlas, excepto en rotación mental. Sin embargo, Németh (2007) comprobó que después de cursar geometría descriptiva, los hombres habían mejorado más sus habilidades espaciales que las mujeres en la prueba *Mental Cutting Test* (MCT).

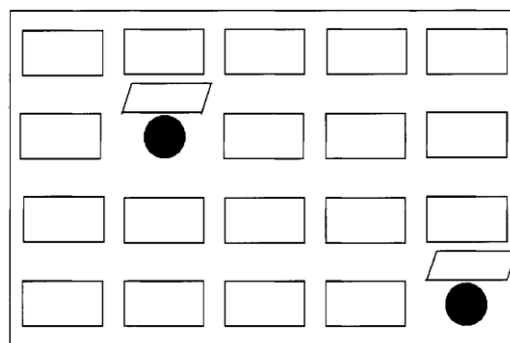


Fig. 5 Tarea de *Spatial Working Memory* empleada. Los participantes tenían que encontrar las 10 parejas de círculos del mismo color abriendo dos solapas a la vez, con el mínimo número de intentos posible. Fuente: Duff y Hampson, 2001.

2.2.2 CULTURALES Y SOCIOECONÓMICOS

“Resulta interesante constatar que personas educadas en otras culturas, no perciben la perspectiva representada como un espacio tridimensional. Es decir, no extrapolan la tercera dimensión y ven una figura plana (lo que de hecho es). Así pues, esta forma de percepción del espacio es algo que trasciende más allá de lo puramente geométrico” (Fadón, Villar y Vallejo, 2000)

Factores de raza o socioeconómicos pueden afectar a las diferencias en habilidades espaciales. Por ejemplo Ritz (2004), comprobó diferencias significativas entre los resultados de estudiantes afroamericanos y blancos y estudiantes blancos y latinos (Basham y Kotrlík, 2008).

En un estudio conducido por la BBC, Lippa y otros (2010) evaluaron dos pruebas (*Mental Rotation* y *Line angle judgment*) en 2005, en 53 países (90.000 varones y 111.000 hembras). En todas las naciones, la media de puntuación de los hombres superó la de las mujeres en las dos tareas. La igualdad de género (según la evaluación de las Naciones Unidas) y el desarrollo económico (según la evaluación de renta per cápita y esperanza de vida) se asociaron significativamente con mayores diferencias de género, en contra de las predicciones de la teoría del rol social. Una posible hipótesis de los autores deriva de la teoría de la amenaza de los estereotipos. Suponiendo que en los países más desarrollados las mujeres están más informadas sobre las diferencias de género en el rendimiento cognitivo espacial, descritas por la investigación científica. La igualdad de género y el desarrollo económico se asociaron significativamente con un mejor rendimiento en las dos tareas para ambos sexos. Estas asociaciones fueron más fuertes para la tarea de rotación mental, y más fuertes para los hombres que para las mujeres.

Milne y otros (2014) comprobaron en ingeniería mecánica en Brighton, que los estudiantes foráneos tenían más dificultades en habilidades espaciales. Lo achacan a que estos estudiantes se habían educado en sistemas que centran su aprendizaje en matemáticas tradicionales y habilidades científicas. Su experiencia educativa había sido menos práctica que para el resto de alumnos. Sus resultados sugieren que las tareas de manipulación manual pueden desarrollar mejor las habilidades espaciales que otras tareas que se basan únicamente en el dibujo.

Sorby, Nevin, y otros (2014) plantean el problema de las diferencias de género en habilidades espaciales. Consideran que puede ser un obstáculo para el éxito de las mujeres en estudios de materias STEM. Emplearon dos pruebas (corte mental y rotación mental) en universidades de EEUU e Irlanda, en diferentes titulaciones. En ambas pruebas resultó diferencia significativa entre las puntuaciones de los dos sexos y los irlandeses puntuaron peor que los americanos.

Los estudiantes de informática obtuvieron las mejores puntuaciones en rotación mental y de las más bajas en corte mental. Opinan que pueda deberse a la afición de la mayoría de estudiantes de informática a jugar con videojuegos, donde aplican rotaciones continuamente (de objetos o personas). Green y Bavelier (2003) demostró que los videojuegos mejoran las habilidades espaciales (de construcción, como Minecraft e incluso de tiros) y la atención visual.

Sorby, Cubero y otros (2014) estudiaron las habilidades espaciales de los estudiantes de ingeniería en Emiratos Árabes. En un estudio previo, habían comprobado (en EEUU), que los estudiantes de África, India y Oriente medio tendían a tener habilidades espaciales más pobres que los de EEUU. Las puntuaciones en la prueba de rotación mental PSVT:R de los estudiantes de Emiratos fueron más bajas que las de los estudiantes de EEUU. En opinión de los autores, puede deberse a las diferencias en los sistemas educativos en los dos países o, incluso, a los diferentes juegos infantiles habituales.

2.2.3 EDAD

En términos generales, se considera que el pensamiento de los niños es más maleable que el de los adultos. Pero los resultados del meta-análisis de Uttal y otros (2013) no pudieron demostrarlo; los estudios no suelen incluir participantes de diferentes edades y se necesitarían más investigaciones que comparan varios grupos de edad.

Los niños desarrollan habilidades de pensamiento espacial por interacción física con objetos en su entorno (Piaget y Inhelder, 1967; Cohen y Hegarty, 2014). La investigación con niños ha demostrado que el desarrollo motor, especialmente la capacidad del aparato locomotor, se asocia con el rendimiento en rotación mental (Frick y otros, 2014).

Según Piaget (Bishop, 1978 y Sorby, 2009), las habilidades espaciales se desarrollan en tres etapas:

- En la *primera etapa*, se adquieren *habilidades topológicas*, que son principalmente bidimensionales y la mayoría de los niños las han adquirido entre los tres y cinco años. Con estas habilidades, los niños son capaces de reconocer la cercanía de un objeto respecto a los demás, su orden en un grupo y su aislamiento o unión en un entorno más amplio. Los niños que son capaces de montar puzzles normalmente han adquirido esta habilidad.
- En la *segunda etapa* del desarrollo, los niños adquieren la *capacidad espacial proyectiva*. Esta segunda etapa consiste en visualizar objetos en 3-D y percibir cómo se verían desde diferentes puntos de vista o si fueran rotados o transformados. La mayoría de los niños han adquirido esta habilidad en la adolescencia con objetos a los que están familiarizados en la

vida cotidiana. Si no están familiarizados con el objeto, muchos estudiantes de secundaria o, incluso, universitarios tienen dificultades para visualizarlos en esta etapa.

- En la *tercera etapa* de desarrollo, las personas son capaces de *visualizar los conceptos de área, volumen, distancia, traslación, rotación y reflexión*. En esta etapa se adquiere la capacidad de combinar conceptos de medidas con las habilidades proyectivas.

Las habilidades espaciales alcanzan su nivel máximo entre 14 y 18 años y posteriormente decrecen lentamente (Martí-Dorta, 2009). Este aspecto justifica una vez más la necesidad de entrenar a los alumnos a edades tempranas en la adquisición de habilidades espaciales.

Algunos autores han observado que la diferencia entre sexos en rotación mental es mayor en adolescentes y adultos que en niños y pre-adolescentes (Voyer y otros, 1995)

2.2.4 EXPERIENCIAS PREVIAS

Además de la edad y el género, se han identificado en varios estudios otros factores que influyen en el desarrollo de la capacidad espacial relacionados con la experiencia.

Varios investigadores han analizado qué tipo de actividades preuniversitarias tienden a estar presentes en aquellos estudiantes que han desarrollado bien las habilidades espaciales (Deno, 1995; Leopold y otros, 1996; Medina y otros, 1998; Torner, 2009). Aunque cada estudio ha producido resultados ligeramente diferentes, parece que las *actividades que requieren coordinación ojo-mano* son las que ayudan a desarrollar estas habilidades.

Los factores que parecen ser significativos en los estudiantes con las habilidades espaciales bien desarrolladas son (Sorby, 2009):

- Haber jugado de niños con juegos de construcción
- Haber participado en talleres o clases de elaboración de producto o mecánica en secundaria
- Utilizar juegos de ordenador en 3-D o videojuegos
- Participar en algunos tipos de deportes y
- Tener habilidades matemáticas bien desarrolladas.

VIDEOJUEGOS

Varios autores han apoyado que los videojuegos desarrollan las habilidades espaciales (Lowery & Knirk, 1982; Dorval y Pepin, 1986; Okagaki y Frensch, 1994; Subrahmanyam y Greenfield, 1994; Crown, 2001; De Lisi y Wolford, 2002; Green y Bavelier, 2003; Terlecki &

Newcombe, 2005; Feng y otros, 2007; Cherney, 2008; Moreau, 2013; Johnson y otros, 2014; Labranche y otros, 2014; Redick y Webster, 2014).

Es posible que los individuos con mejores habilidades espaciales tengan más tendencia a jugar con videojuegos y su efecto quede algo distorsionado por este motivo. Pero se han realizado entrenamientos específicos con videojuegos para desarrollar tareas espaciales y se ha comprobado su eficacia (Martín Gutiérrez, 2010).

Varias líneas de investigación indican que la capacidad de atención espacial mejora con el entrenamiento pertinente. Por ejemplo; Feng y otros (2007). Las instrucciones o formación que mejoran las capacidades de memoria de trabajo y atención es probable que mejoren la cantidad de información en que los participantes puedan pensar y manejar. Por ejemplo, los jugadores de videojuegos pueden contener un mayor número de elementos en la memoria de trabajo y actuar sobre ellos (Uttal y otros, 2013).

JUEGOS DE CONSTRUCCIÓN

Los juegos de construcción implican manipulación, construcción y movimiento de piezas en el espacio. Igual que con los videojuegos, los niños con más habilidades espaciales, tienen mayor tendencia a realizar estas actividades. Pero como informaron Oostermeijer y otros (2014), según la literatura científica, las actividades con juegos de construcción como Lego, blocks y rompecabezas ejercen una gran influencia en las habilidades espaciales (Mitchell, 1973; Pomerleau et al., 1990; Caldera y otros, 1999). Levine et al. (2012) comprobó que la frecuencia de jugar con rompecabezas contribuía al desarrollo de la capacidad espacial.

DEPORTES

Algunos autores han demostrado relación entre la práctica de algunos deportes y el desarrollo de las habilidades espaciales (Torner, 2009). Moreau y otros (2012) investigaron la relación entre la habilidad en rotación mental y un entrenamiento deportivo de diez meses en atletismo (correr) y lucha libre. Comprobaron que los universitarios que habían sido entrenados en lucha libre obtuvieron mayores ganancias en la prueba de rotación mental que los corredores. Los autores concluyen que estos resultados muestran coherencia con el concepto de plasticidad cognitiva inducida por el entrenamiento motor que implica manipulación de configuraciones espaciales.

ESTUDIO DE DIBUJO TÉCNICO

En el apartado de metodologías para desarrollar las habilidades espaciales, se describen los resultados de varios estudios que analizan su mejoría después de cursar asignaturas gráficas (pág. 122).

Como ejemplo, Pérez Carrión y otros (2002) estudiaron la capacidad espacial (MRT) de 603 alumnos que cursaban estudios técnicos universitarios en la Universidad de Alicante. Los alumnos de Arquitectura e Informática son los que mayor porcentaje lograron, con 61,18% y 57,52% de aciertos respectivamente mientras que Ingeniería Geológica tenía el menor porcentaje (37,36%). En conjunto los varones obtuvieron mejor puntuación que las mujeres (un 3% superior). En el único grupo que prácticamente se igualaban era en arquitectura.

Los resultados demostraron que los estudios previos de dibujo son determinantes para el desarrollo de la habilidad espacial; había una diferencia de un 11% entre los que habían cursado dibujo con anterioridad (54,3%) y los que no (42,9%).

2.3 IMPORTANCIA DE LAS HABILIDADES ESPACIALES EN DOMINIOS STEM

“La educación en habilidades espaciales podría aumentar la participación en matemáticas, ciencia o ingeniería” (Uttal y otros, 2013).

El pensamiento espacial es fundamental en la vida cotidiana. Bannatyne (2003) afirmaba que la mayoría de las profesiones dependen más de la capacidad espacial que de la capacidad verbal: arquitectos, ingenieros, astrólogos, bioquímicos, biólogos, químicos, cartógrafos, geólogos, cirujanos, pilotos, matemáticos, mecánicos, físicos, constructores, agricultores...

La capacidad de visualizar y manipular imágenes y objetos mentalmente es una habilidad cognitiva importante en muchos dominios. Numerosos estudios han demostrado la relación entre el éxito en materias STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) y la habilidad espacial: En medicina (Wanzel y otros, 2002; Palmer y otros, 2015; Phelps y otros, 2015; Guillot y otros, 2007; Luursema y otros, 2010; Kozhevnikov y otros, 2013), Ingeniería (Hsi y otros, 1997), uso de ordenador (Zhang y Salvendy, 2001), matemáticas (Prugh, 2012), química (Pribyl y Bodner, 1987), geología (Titus y Horsman; Liben y otros, 2011). Es clave para el desarrollo conceptual y para la comunicación en estos ámbitos. Wai y otros (2009) examinaron la importancia de la capacidad espacial en actividades educativas y en el mundo laboral, principalmente en dominios STEM. Los participantes fueron 400.000, extraídos de una muestra aleatoria de escuelas secundarias de EEUU, a los que se hizo un seguimiento durante once años. Los adolescentes que posteriormente cursaron con éxito estudios STEM y se dedicaron profesionalmente a ello, sobresalían en habilidades espaciales. Sus resultados confirmaron que la capacidad espacial juega un papel crítico en el desarrollo de conocimientos en STEM. Sugieren que es importante evaluar las habilidades espaciales para detectar adolescentes con potencial talento en estas disciplinas. Este estudio corrobora los resultados y conclusiones de Shea y otros (2001).

La extensa investigación sobre habilidades espaciales ha demostrado que es fundamental también para el razonamiento y procesos creativos e innovadores (Heidi M Steinhauer, 2011; Branoff, 2009; Veurink y otros, 2009; Smith, 1964; Sorby 2009; Sorby, Nevin, y otros, 2014).

Incluso, las habilidades espaciales ayudan a explicar diferencias individuales en la capacidad de aprender de un diagrama (Höffler, 2010). La dificultad en pensamiento espacial afecta a la resolución de problemas (Steiner y otros, 2014).

A pesar de tener un papel fundamental en la educación de ciencias y tecnologías, la capacidad espacial ha recibido menos atención en los centros educativos en comparación a otras habilidades cognitivas, como las habilidades verbales y matemáticas. Algunos estudios han

demostrado que las dificultades en habilidades espaciales suponen una barrera de entrada en estudios de estos ámbitos (Harris y otros, 2013; Uttal y otros, 2013).

Ortega, Urraza y Doria (2008) realizaron un estudio sobre las competencias para el Dibujo de Ingeniería Industrial demandadas por empresas del País Vasco y su relación con las competencias y conocimientos adquiridos en los estudios de Ingeniería Industrial. Una de las competencias era *“Aplicar la capacidad espacial a la resolución de problemas técnicos”*. La formación adquirida se valoró con un 2,324, y la requerida 3,343, lo que supone un diferencial de 1,019. Este dato supone que dicha formación es claramente insuficiente. Entre otras conclusiones, los autores escribieron:

“Debemos considerar el desarrollo de la capacidad para percibir, concebir y manejar el espacio tridimensional, de especial significado en la Expresión Gráfica por su implicación práctica en el buen hacer del profesional de Ingeniería. La gran importancia atribuida al diseño de proyectos, productos e instalaciones, reflejados siempre por medio de la correspondiente documentación gráfica, así como la creciente demanda de innovación, creatividad y calidad de los productos, que parte inicialmente de la imagen mental de diseño, hacen que esta competencia sea la base operativa gráfica de la comunicación entre técnicos profesionales y clientes no expertos en la materia. Los aspectos metodológicos académicos basados en la Geometría Constructiva, así como las posibilidades del diseño por ordenador deben ayudar a un adecuado desarrollo de esta competencia”.

La Universidad Politécnica de Madrid realizó un informe sobre el perfil de los alumnos de nuevo ingreso.³ El estudio incluyó en los cursos 2004-2005 y 2006-2007 unas pruebas de aptitudes en relaciones espaciales, razonamiento abstracto, razonamiento numérico y razonamiento verbal. Los alumnos superaron ampliamente los baremos existentes, excepto en relaciones espaciales. Entre los dos cursos no se observaron grandes diferencias, pero el único valor medio que decreció fue el de relaciones espaciales.

Los estudiantes con altas habilidades espaciales tienen áreas de notable talento, pero a menudo se pasan por alto y son desatendidos en las escuelas. Su preferencia por el aprendizaje a través del razonamiento visual entra en conflicto con las técnicas de instrucción verbales tradicionales en las escuelas (Mann, 2014).

La importancia de la capacidad de visión espacial ha aumentado, ya que es uno de los más significativos predictores para la manipulación y utilización de numerosas ventajas que ofrecen

³ Universidad Politécnica de Madrid. *Informe Demanda-UPM. Perfil de los alumnos de nuevo ingreso. Curso 2005-2006*. UPM, Madrid, 2006.

las tecnologías recientes (Norman, 1993; Marunic y Glazar, 2014). Además, la fuerte evidencia de la contribución del pensamiento espacial en dominios STEM, junto con la evidencia para su maleabilidad (Uttal y otros, 2013) ha ido convenciendo a los educadores de que las capacidades espaciales son dignas de identificación sistemática y de desarrollo (Cohen y Hegarty 2012).

Un beneficio potencial de desarrollar las habilidades espaciales es la mejora de rendimiento académico en estudios tecnológicos (Olkun, 2003; Shea y otros, 2001; Basham y Kotrlik, 2008; Casey y otros, 2015). Los estudiantes interesados en esas materias, pero con niveles relativamente bajos en habilidades espaciales pueden enfrentarse a un desafío frustrante al inicio de sus estudios universitarios. Las primeras etapas de aprendizaje parecen ser particularmente dependientes de las habilidades espaciales descontextualizadas.

Es importante detectar al principio aquellos estudiantes con dificultades en habilidades espaciales. Está demostrado que puede entrenarse y mejorar. Algunos estudiantes afectados por esta carencia, consideran que es una habilidad con la que se nace y que no es posible desarrollarla. Esta idea errónea puede tener un impacto negativo en el éxito de los estudiantes. Sorby (2009) y Hsi y otros (1997) demostraron que la capacidad espacial pobre provoca renuncias a seguir en estudios universitarios de ingeniería y que un curso de entrenamiento en habilidades espaciales conduce a un mayor porcentaje de permanencia. Los cursos de entrenamiento pueden tener un impacto muy positivo en los estudiantes de nuevo ingreso y, por tanto, en su permanencia en la universidad.

Cohen y Hegarty (2012) explicaban que la habilidad de cortar un objeto por un plano contribuye al rendimiento de las ciencias biológicas y la medicina. Por ejemplo, Russell-Gebbett (1985) encontró que la capacidad de entender las formas de secciones transversales de las estructuras anatómicas y de entender las relaciones espaciales entre las secciones transversales de las partes internas de la anatomía, se correlacionaban positivamente con el éxito en biología. Rochford (1985) constató que los estudiantes que tenían dificultades en imaginar procesos espaciales, incluyendo el corte, también tenían dificultades para la práctica de clases de anatomía. Es una capacidad importante también en la comprensión y el uso de radiografías, resonancia magnéticas y TAC (Hegarty y otros, 2007). Esta habilidad es también fundamental para la geología (Orion y otros, 1997) y se correlaciona con el éxito en la geometría (Pittalis y Christou, 2010). Y por supuesto, la comprensión de la sección transversal de una pieza, conjunto o estructura es una habilidad fundamental en ingeniería y arquitectura (Gerson y otros, 2001).

2.4 MEDICIÓN DE HABILIDADES ESPACIALES

En las investigaciones relacionadas con las habilidades espaciales en estudiantes, los test pueden emplearse como pre y post-evaluación con la finalidad de demostrar los avances en el aprendizaje. Son útiles también para perfeccionar la enseñanza, abordando los conceptos erróneos identificados y aplicando estrategias didácticas nuevas y diferentes (Steinhauer, 2011; Adanez y Velasco, 2002) .

La ausencia de una clasificación consensuada de las habilidades espaciales, conduce a discrepancias sobre las pruebas que las evalúan mejor. Este hecho ha condicionado que se hayan diseñado numerosas pruebas para tal fin. Eliot y Smith (1983) revisaron y clasificaron varios cientos de test de habilidades espaciales.

2.4.1 PRUEBAS EMPLEADAS EN EVALUAR LAS HE EN ESTUDIANTES DE INGENIERÍA

Kelly (2013) revisó los artículos relacionados con la expresión gráfica en Ingeniería publicados desde 1996 en revistas de *the American Society of Engineering Education (ASEE): Journal of Engineering Education, the Engineering Design Graphics Division (EDGD), Engineering Design Graphics Journal* y *Journal for Geometry and Graphics* y en actas de congresos de ASEE y EDGD. Su propósito era averiguar las pruebas de habilidad espacial empleadas. Identificó 10 test utilizados con frecuencia en estas investigaciones. Además revisó las pruebas de HE disponibles para educación en *Educational Testing Service (ETS)*. En total recogió 24 test de HE disponibles para los investigadores en educación de expresión gráfica.

Realizó una encuesta on-line a los miembros de Engineering Design Graphics Division (EDGD), con el fin de averiguar las pruebas de HE que consideraban mejores. Les pedía que marcaran 5 de los 24 test seleccionados, asignando un orden de preferencia. Los tres primeros clasificados fueron:

- MCT, Mental Cutting Test
- MRT, Mental Rotation Test
- PSVT:R. Purdue Spatial Visualization Test

Mental Cutting Test: MCT (CEEB, 1939). Se desarrolló por primera vez como una prueba en el examen de acceso a la universidad en EE.UU. Consta de 25 ítems. Se muestra una

perspectiva de una figura y un plano que la atraviesa. Consiste en determinar, entre 5 soluciones posibles, cual es la sección que produce el plano en la figura (Fig. 6). Tiempo límite: 20 minutos

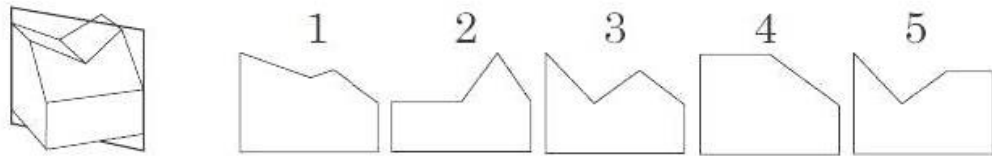


Fig. 6. Ejemplo de ítem de *Mental Cutting Test* (MCT)

Mental Rotation Test: MRT (Vandenberg y Kuse, 1978). Es una versión de un test de Shepard y Metzler (1971). Consta de 20 ítems. Para cada ejercicio se muestra la perspectiva de una figura de referencia a la izquierda y cuatro figuras a la derecha. Consiste en localizar entre las cuatro opciones de la derecha, las dos que corresponden a la figura de la izquierda (Fig. 7).

Se recomienda un tiempo límite de 10 minutos. En el caso de que no se localicen las dos soluciones, se puede marcar sólo una de ellas y el ejercicio puntúa la mitad. Si alguna de ellas es errónea el ejercicio no se puntúa. Según este criterio, la puntuación máxima es de 20 puntos.

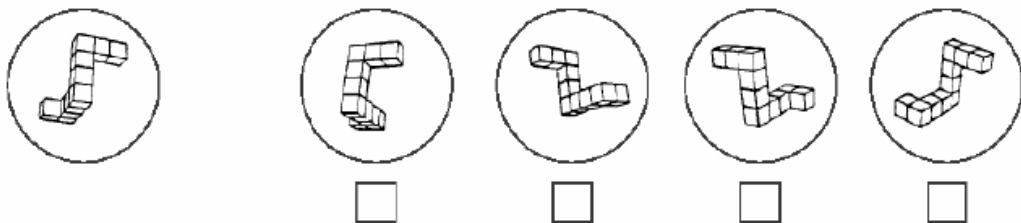


Fig. 7. Ejemplo de ítem de *Mental Rotation Test* (MRT)

La Prueba *Purdue Spatial Visualization Test: Visualization of Rotations (PSVT: R)* fue desarrollado por Guay (1977) y consta de 30 ítems. Se muestra una figura antes y después de rotarla. Consiste en rotar mentalmente otra figura dada aplicando la misma rotación que la primera. Se debe escoger la solución entre 5 opciones (Fig. 8). Tiempo límite: 20 minutos.

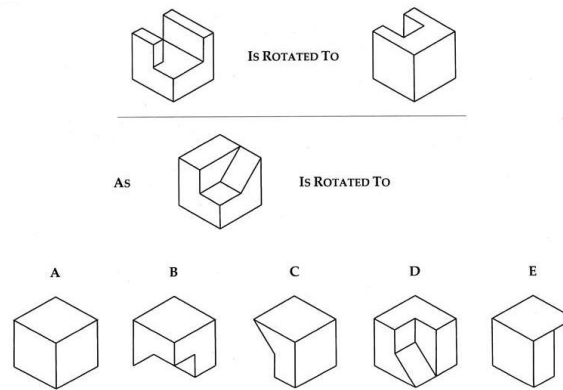


Fig. 8. Ejemplo de ítem de *Purdue Spatial Visualization Test: Visualization of Rotations* (PSVT:R)

La prueba *Differential Aptitude Test: Spatial Relations* (DAT: SR), no está entre los 3 mejores seleccionados. Ocupa la posición número 7 en el ranking de la Tab. 3. Se ha empleado en la investigación que aquí se presenta por los motivos que se exponen en el Capítulo 3. Se aplica la versión de 60 ítems. Forma L. Se muestra el desarrollo de una figura. Consiste en seleccionar la figura en 3D (dada en isométrica) que resultaría de plegar mentalmente el desarrollo dado, entre 4 opciones posibles (Fig. 9). Tiempo límite: 25 minutos (Bennett, Seashore, y Wesman, 1973). Se creó en 1947. La finalidad era disponer de un procedimiento integrado, científico y estandarizado que pudiera medir las aptitudes de los alumnos en ciclos básicos y especializados de la enseñanza secundaria. En 1962 y 1972 se revisó. Consiste en una batería de 8 test: razonamiento verbal, cálculo, razonamiento abstracto, velocidad y precisión, razonamiento mecánico, relaciones espaciales, ortografía y lenguaje.

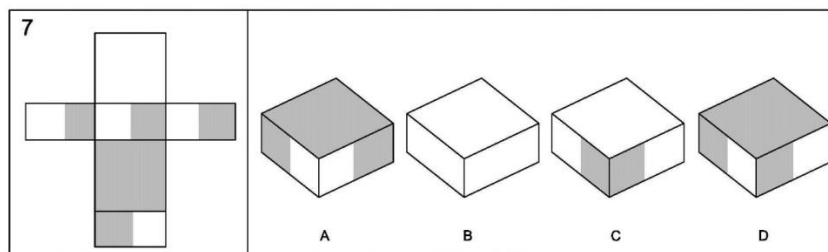


Fig. 9. Ejemplo de ítem de *Differential Aptitude Test: Spatial Relations* (DAT-SR)

En la Tab. 3 se recogen los test seleccionados por Kelly ordenados por ranking de preferencia de los investigadores consultados. Y en la Fig. 10 algunos ejemplos de test incluidos en dicha tabla.

Test	Autores	Descripción
Purdue Spatial Visualization Test: Visual. of Rotations (PSVT:R)	(Guay 1977)	Aplicar a un sólido la misma rotación que otro ya rotado
Mental Rotations Test (MRT)	(Vandenberg & Kuse 1978)	Versión del test Mental Rotation Task de Shepard y Metzler (1971) Identificar formas en 3D como representaciones rotadas de un objeto
Mental Cutting Test (MCT)	(CEEB 1939)	Determinar la sección que produce un plano en un sólido
Purdue Spatial Visualization Test: Visual. of Views	(Guay, 1977)	Indicar desde dónde se ha observado un objeto para visualizar una perspectiva dada.
Purdue Spatial Visualization Test: Visual. of Developments	(Guay, 1977)	Indicar a qué figura corresponde un desarrollo dado
Paper Folding Test (PFT)	Ekstrom, French y Harman, 1976	Escoger entre cuatro piezas desarrolladas de papel, cuál es la misma que el modelo plegado dado
Differential Aptitude Test-Space Relation (DAT-SR)	(Bennett et al. 1973)	Relacionar una forma tridimensional con la imagen de su desarrollo en 2D
3-Dimensional Cube Test (3DC)	Gittler, 1998	Elegir entre 6 vistas, la que corresponde a una rotación de un cubo dado. Opciones también de "no sé" o "ninguno".
Differential Aptitude Test- Mechanical Reasoning (DAT-MR)	Bennett, Seashore, y Wesman, 1973	Elegir entre dos opciones a partir de un dibujo sobre principios elementales de mecánica,
Haptic Visual Discrimination Test (HVDT)	McCarron y Dial, 1976	Requiere habilidades de sensibilidad táctil, síntesis espacial y capacidad de integrar información parcial de un objeto en su conjunto. Se manipula un objeto en una mano sin verlo, y se selecciona un objeto correspondiente en un gráfico de identificación con la mano libre.
Missing Line Test		
Guilford-Zimmerman Aptitude Survey- Spatial Orientation	Guilford y Zimmerman, 1948	Capacidad para ver cambios en dirección y posición. Marcar cómo ha cambiado la posición de un bote desde una primera imagen hasta otra segunda.
Guilford-Zimmerman Aptitude Survey- Spatial Visualization		
Surface Development Test	Ekstrom, French y Harman, 1976	Se dan un desarrollo y una perspectiva de un sólido. Consiste en relacionar caras o aristas entre las dos imágenes
Revised Minnesota Paper Form Board Test (RMPFB)	Rensis Likert y Quasha, 1995	Determinar si una pieza puede completarse con una serie de trozos de papel recortados
Closure Flexibility-Concealed Figures Task (CFT)	Thurstone and Jeffrey, 1984	Capacidad de mantener una configuración en mente a pesar de la distracción
Cube Comparisons Test (adapted from Thurstone's Cubes)	1976	Cada ítem presenta 2 dibujos de un cubo. Decir si pueden ser del mismo cubo o no.
Group Embedded Figures Test (Various adult and children's versions) (EFT, CEFT)	Witkin, 1950	Encontrar una figura simple incluida dentro de una imagen más compleja
Minnesota Paper Form Board Test	Likert y Quasha, 1994 (Revised)	Discernir los componentes de una figura desordenada y decidir qué figura muestra la unión ordenada de ellas.
SRA Mechanical Aptitudes- Space Relations	Science Research Associates, 1947	Valora aptitudes de mecánica
Mutilated Cube Test (Clare V. Mann)		
SRA Primary Mental Abilities	Optometric Extension Program, 1995	Elegir, entre cinco opciones, la parte que le falta a un cuadrado incompleto dado.

Tab. 3. Test seleccionados por Kelly (2013) ordenados por ranking de preferencia de los investigadores consultados

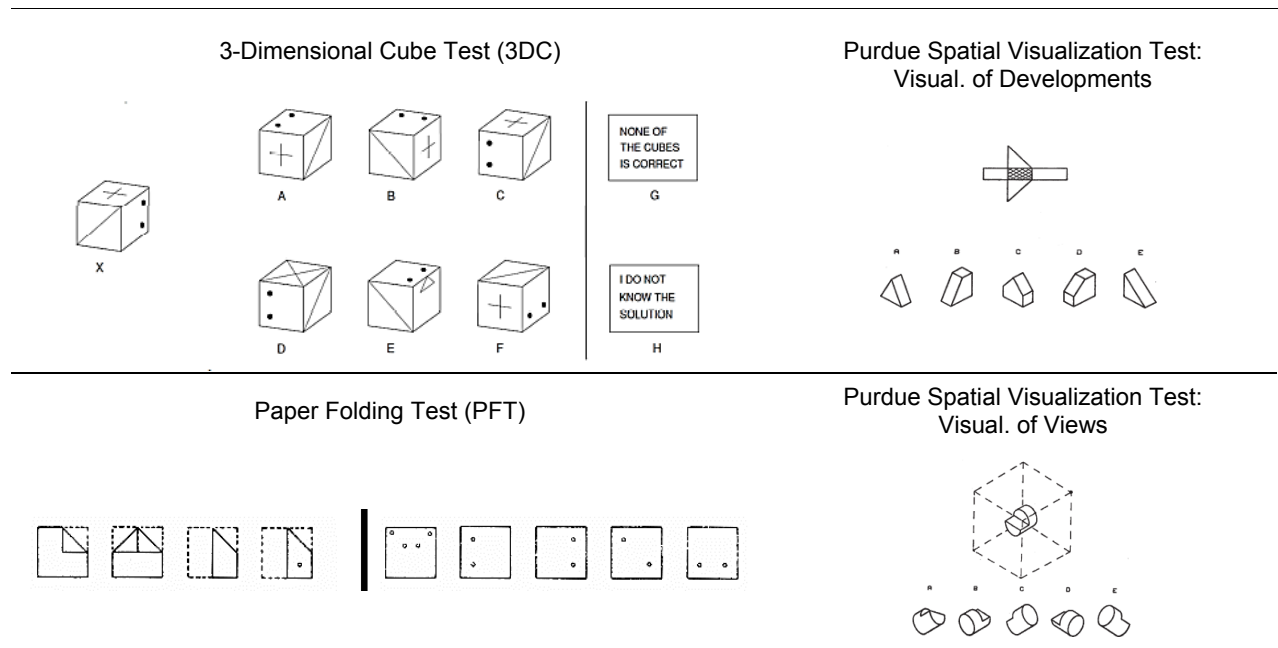


Fig. 10. Algunos ejemplos de ítems de test seleccionados por Kelly (2013)

En 1985, Linn y Petersen clasificaron los test de habilidades espaciales en tres categorías que pueden aplicarse a tres factores de habilidades espaciales:

- *Percepción espacial.* Los test consisten en determinar relaciones espaciales con respecto a la orientación, a pesar de la existencia de otra información de distracción. Un ejemplo es *Rod and Frame test (RFT)*, en el que debe colocarse una varilla verticalmente mientras se visualiza un marco orientado a 220° . Otro es *nivel de agua (Water level)*, que requiere dibujar o identificar una línea horizontal en un contenedor inclinado
- *Rotación mental.* Habilidad de rotar figuras 2D o 3D rápidamente y con precisión.
- *Visualización espacial:* Requiere varios pasos; involucran los procesos necesarios en percepción espacial y rotación mental, pero se distinguen por la posibilidad de múltiples estrategias de solución. Por ejemplo: tareas de plegado mental, o de figuras embebidas.

Linn & Petersen (1985) consideraban que en las pruebas de *visualización* se requieren estrategias analíticas para resolverlos. Sin embargo, en *rotación mental* y *percepción* pueden usarse o no estrategias analíticas. Parece, por tanto, que los procesos cognitivos empleados para resolver tareas de visualización espacial son distintos en percepción y rotación.

Sjölander (1998) clasificó varios test en las categorías descritas por Linn y Petersen. Saorín Pérez (2006) amplió esta clasificación. En la Tab. 4 se especifican los test que no están incluidos en la Tab. 3. En la Fig. 11 se han representado algunos ejemplos extraídos de Linn y Petersen (1985).

Test	Autores	Descripción
Spatial Relation subset of Primary Mental Abilities Test (PMA-SR)	Thurstone, 1958	Rotación mental 2D
Cards Rotation Test (CRT)	Ekstrom, French y Harman, 1976	Rotación mental 2D
Generis Mental Rotación Tasks	Voyer, Voyer y Bryden, 1995	Rotac. ncluye las variantes de Shepard y Metzler (1971) de <i>Chronometric Task</i> , y el formato se ha realizado para ordenador
Rotation of images	Duerman – Sälde test battery, Psykologiförlaget 1971	Rotac. Elegir, mediante rotaciones mentales, la imagen que es idéntica a la que se presenta en el ejercicio
Left or right hand identification	Duerman – Sälde test battery, Psykologiförlaget 1971	Rotac. Imágenes de manos giradas. Decidir si la imagen corresponde a una mano izquierda o derecha
The rod-and-frame test (RFT)	Witkin y Asch, 1948	Percep. Ajustar una barra a la vertical
The Water Level Test (WLT)	Piaget e Inhelder, 1956	Percep. Determinar la orientación de un líquido en un contenedor
Paper Form Board (PFB)	Likert y Quasha, 1941	Visual. Decidir, entre cinco opciones, cuál de los dibujos bidimensionales puede ser construido mediante un conjunto de fragmentos dado
Identical Blocks Test (IBT)	Stafford, 1961	Visual. indicar qué bloque entre varias opciones, es el mismo que el que se da (letras y números en las caras del bloque)
The Block Design Subset of the Weschler Adult Intelligence Scale, Intelligence Scale- Revised and the Weschler Intelligence Scale for Children	Weschler, 1946, 1949, 1955, 1974, 1981	Visual. Reconstruir una forma utilizando bloques tridimensionales
Hidden Figures Test (HFT)	Ekstrom, French y Harman, 1976	Visual. Encontrar una figura simple incluida dentro de una imagen más compleja

Tab. 4. Test clasificados por (Sjölander 1998) en las categorías descritas por (Linn & Petersen 1985), no incluidos en la tabla anterior

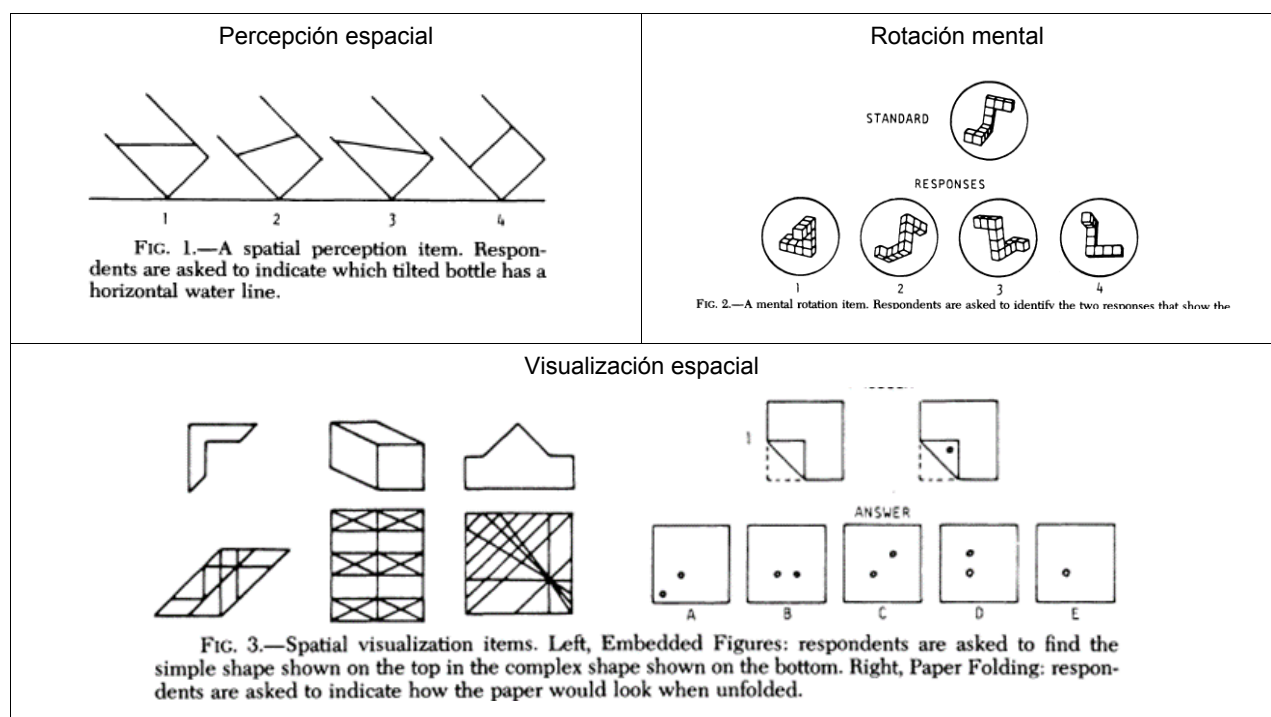


Fig. 11. Algunos ejemplos de test, extraídos de Linn & Petersen, 1985

En algunas investigaciones sobre habilidades espaciales en ingeniería (Veurink y otros, 2009), se ha aplicado un test que no consta en las tablas anteriores. Es The Lapan test (Lappan, 1981). Se da una vista isométrica de una figura y consiste en averiguar (seleccionando entre 5 opciones), qué vista del objeto puede visualizarse desde una posición concreta (Fig. 12).

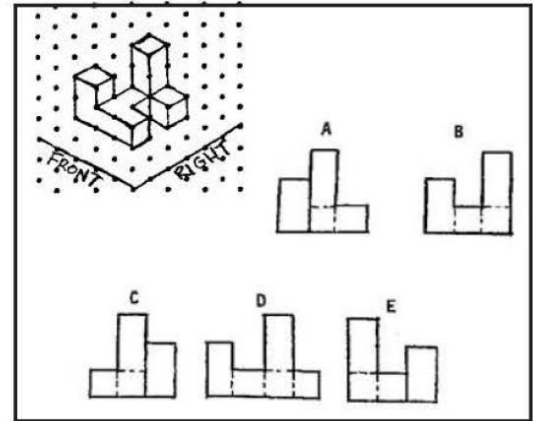


Fig. 12 Ejemplo de Lapan test. Fuente: (Veurink et al. 2009). Seleccionar la vista trasera

La mayoría de los investigadores españoles han utilizado los test: *Mental Rotation Test (MRT)* y *Differential Attitude Test - Spatial Relations (DAT-SR)*, basándose en la clasificación de las habilidades espaciales propuesta por Carroll: relaciones espaciales y visión espacial (Fig. 13). Algunos autores consideran que estos test quizás no son del todo adecuados y proponen como futuras líneas de investigación profundizar en este tema (Saorín, 2006; Torner, 2009; Martín-Gutiérrez, 2010).

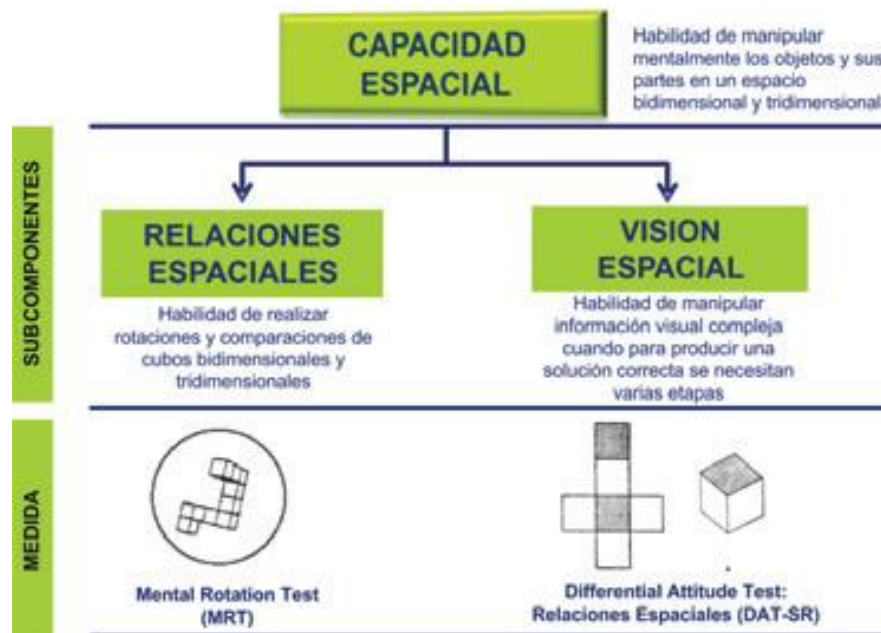


Fig. 13 Subfactores y test de medida de la capacidad espacial. Fuente: Saorín y otros (2009)

Los test en formato papel se han ido adaptando a versiones digitales que permiten, entre otras cosas, una corrección más ágil y precisa. Los test mencionados hasta el momento, se desarrollaron para resolverse con papel y lápiz y es el único formato al que se puede acceder. Cada investigador lo adapta a sus necesidades o preferencias.

Se han creado nuevos test que evalúan diferentes habilidades espaciales. Se recogen algunos ejemplos:

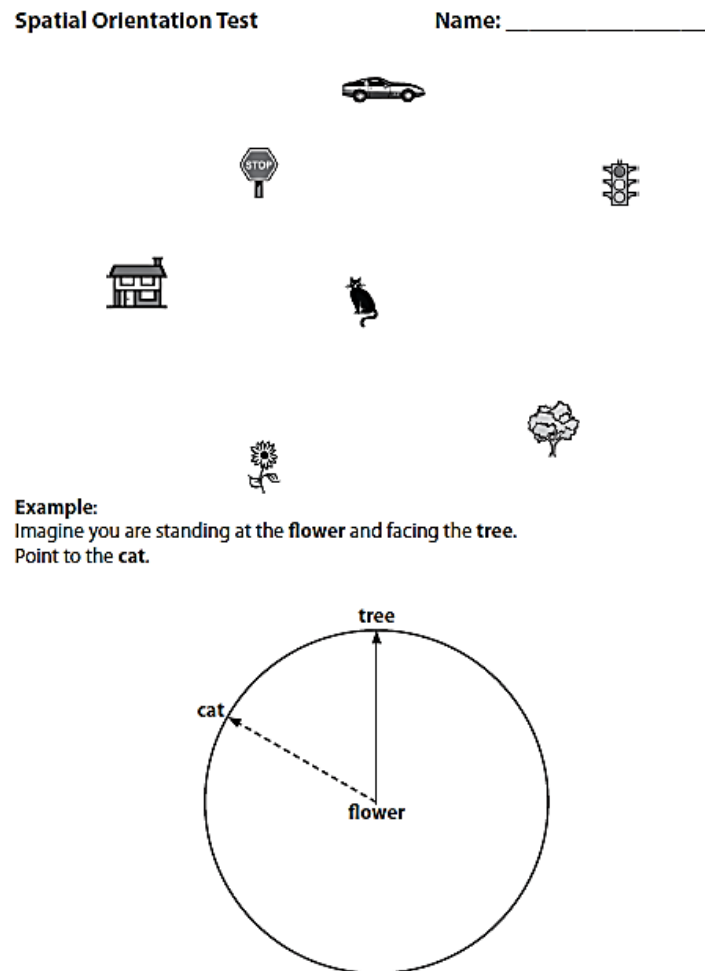


Fig. 14. Ejemplo de *Perspective Taking / Spatial Orientation Test (OPT)*

Hegarty y otros (2004) desarrollaron el test *Perspective Taking / Spatial Orientation Test (OPT)*, que mide la capacidad de ocupar nuevas posiciones imaginarias dentro de una configuración de objetos. En el ejemplo de la Fig. 14, donde ya está punteada la solución, consiste en marcar dónde estará el gato, suponiendo que se está situado en la flor, mirando en dirección al árbol.

Sutton and Williams (207, 208, 209) investigaron nuevos test psicométricos, más enfocados a las necesidades de los ingenieros, con variedad de ejercicios. Se agrupan en diversas tipologías que permiten valorar diferentes aspectos relacionados con la habilidad espacial. Las investigaciones sobre habilidades espaciales tienden a centrarse en uno o dos tipos de pruebas y descuidan otros test que valoran específicamente la capacidad espacial relevante para la ciencia y la ingeniería (Sorby, 2006).

En la investigación de Sutton and Williams colaboraron psicólogos e ingenieros. Se centraron sobre todo en establecer una medida fiable de visualización para identificar las deficiencias que dificultan el proceso de enseñanza / aprendizaje. Desarrollaron el *3D Spatial Ability Test (3DAT)*. Consta de grupos de elementos de test (subtest). Su finalidad es medir la capacidad espacial que se aplica en la comunicación gráfica, utilizando una serie de tareas de cognición espacial. Analiza las habilidades destacadas en la formación tradicional de expresión gráfica, como la comprensión de los diferentes tipos de proyecciones, el concepto de verdadera magnitud, plegado y desarrollo y propiedades de los sistemas de coordenadas. Cumple con las normas de prueba psicométrica (*psychometric test construction standards*). Es un instrumento informático que mide la precisión y el tiempo de respuesta.

Desde 2009, no se ha publicado nada más sobre el test 3DAT. En el año 2009 aplicaron 12 subtest, pero continuaban investigando sobre el tema. En la Fig. 15, se ha representado un ejemplo de cada uno de los 12 subtest aplicados.





















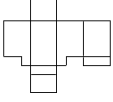
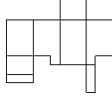
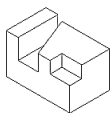


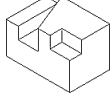
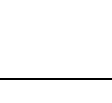
























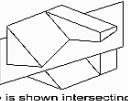




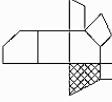




 <p>For these tasks you are asked to select the corresponding 2D back view of the target 3D object above. Enter the number of your choice.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">     </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 1 2 3 4 </div> <p>BUILDING RECOGNITION [BuildRep(BR)]</p>	<p>REFERENCE AXES Starting from where the axes meet (origin), a dot cannot be located more than 1 unit in the x direction, 30 units in the y direction, and 30 units in the z direction. 0 is the origin point.</p> <p>EXAMPLE If you were looking towards the origin point from the y axis and a dot was located at: x = 20 y = 0 z = 0</p>   <p>If you were looking towards the origin from the x direction and a dot was located at: x = 0 y = 20 z = 30</p> <p>Enter the number of the diagram below that you think is correct.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">     </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 1 2 3 4 </div> <p>DOT COORDINATE [DotCoord (DC)]</p>	<p>From the 4 views shown below, enter the number that you think the 3D object rotates into.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>15 IS ROTATED TO</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>AS IS ROTATED TO</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">     </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 1 2 3 4 </div> <p>VISUALIZATION [Visualiz (VZ)]</p>
<p>Enter the number of the open view which you think will fold into the 3D object shown.</p>  <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 1 2 </div> <p>FOLD UNFOLD [FoldUnfold (FU)]</p>	 <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>Enter the number of the 3D object that is represented by these three views.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 1 2 </div> <p>RECOGNITION [Recogn (RC)]</p>	 <p>3 sets of 2D views of the triangular pyramid are shown.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 1 2 3 4 5 6 </div> <p>Select the number of the 2D view that shows the TRUE LENGTH of the SLANT edge of the triangular pyramid.</p> <p>TRUE LENGTH [TrueLength (TL)]</p>
 <p>For these tasks you are asked to decide which 3D object represents the 2D target object above from the desired viewing angle, denoted by the arrow. Enter the number of your choice.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">     </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 1 2 3 4 </div> <p>TRANSFORMATION [TransForm (TR)]</p>	 <p>For this task, you are asked to decide which set of 2D views represents the 3D object shown above. You have four options to choose from. Enter the number of your choice.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">     </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 1 2 3 4 </div> <p>ENGINEERING DRAWING [EngDwg (ED)]</p>	  <p>Two 3D objects are shown above. You are asked to decide whether both objects are the SAME or DIFFERENT.</p> <p>Enter the number corresponding to your choice shown below.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> SAME DIFFERENT </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 1 2 </div> <p>MENTAL ROTATION [MRotate (MR)]</p>
 <p>A 3D object is shown above. Enter the number of the 3D object below that you think is the same as the 3D object above.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">     </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 1 2 3 4 </div> <p>3D MENTAL ROTATION [3D Rotate (RT)]</p>	 <p>A cutting plane is shown intersecting with the 3D object above.</p> <p>Enter the number that you think represents the resulting section.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">     </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 1 2 3 4 </div> <p>MENTAL CUTTING [MentalCut (MC)]</p>	 <p>An open view of an object is shown above (the base of the object is shaded). Enter the number of the 3D object below which you think it will fold into.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">     </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 1 2 3 4 </div> <p>SURFACE DEVELOPMENT [SurfDev (SD)]</p>

Fig. 15 Ejemplos de ítems de test 3DAT (Sutton & Williams 2008)

Aunque las pruebas espaciales estandarizadas de dominio general proporcionan un buen punto de partida para la evaluación de la habilidad espacial en campos de STEM, tienen limitaciones (Cohen y Hegarty, 2012). Muchos test espaciales fueron desarrollados para predecir el rendimiento en ciertos oficios calificados (Smith, 1964), en lugar de medir los tipos de habilidades de pensamiento espacial necesarios en tareas de STEM. Además, muchas pruebas de habilidad espacial existentes se desarrollaron a través de análisis factorial y su diseño no fue condicionado por las teorías de los procesos cognitivos de las diferencias individuales en pensamiento espacial. Un enfoque alternativo es apuntar a las habilidades que contribuyen al rendimiento en STEM, especificar los componentes cognitivos de estas habilidades y desarrollar pruebas enfocadas a medir el rendimiento en estas habilidades.

Motivados por la importancia de la habilidad de cortar un elemento por un plano en dominios STEM, Cohen y Hegarty (2012) desarrollaron un nuevo test: *Santa Barbara Solids Test (SBST)* de 30 ítems (Fig. 16). Fue diseñado para medir las diferencias de rendimiento en estudiantes universitarios con una distribución normal de la habilidad espacial. Los ítems del test varían en complejidad del sólido geométrico y en la orientación del plano de corte. Sorprende que los autores no mencionen el *Mental Cutting Test (MCT)*.

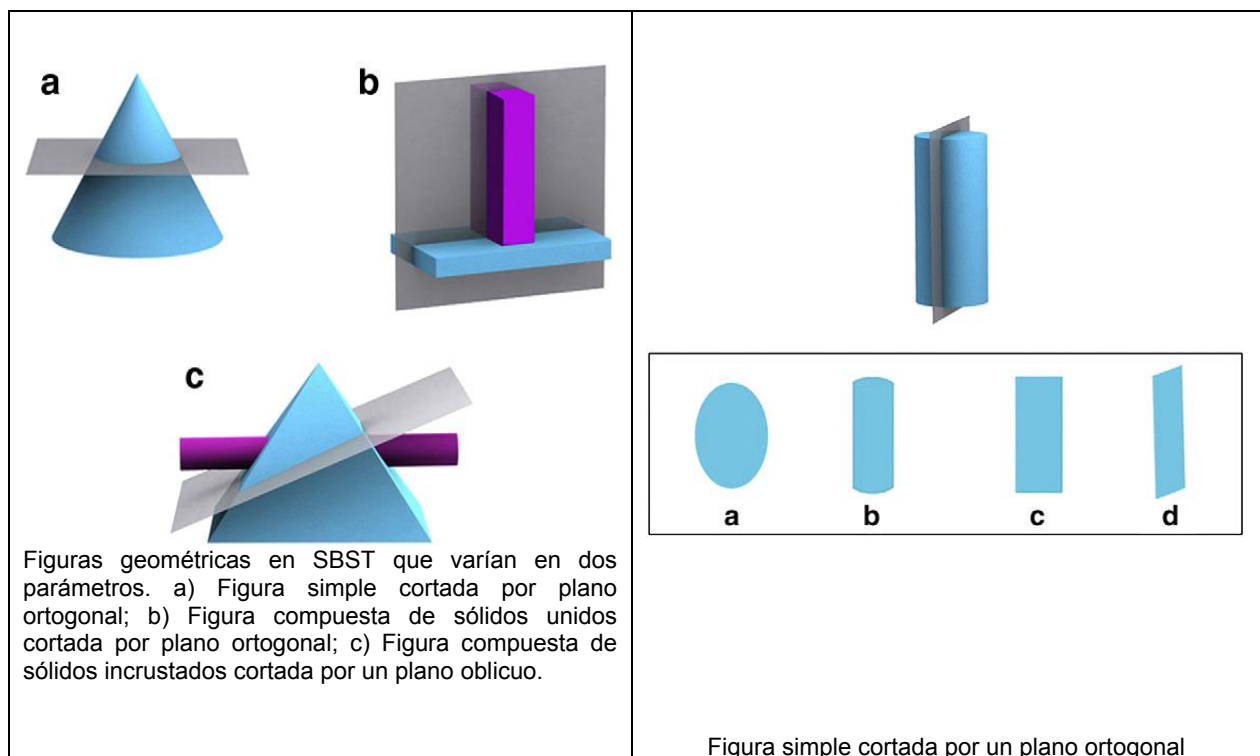


Fig. 16 Ejemplos de *Santa Bárbara Solid Test* (Cohen y Hegarty, 2012)

Atit Atit, Shipley y Tikoff, (2013) han desarrollado *The Non-rigid Bending test*. Explican que se ha estudiado principalmente la simulación mental de transformaciones espaciales rígidas (por ejemplo, la rotación mental). Pero los objetos pueden someterse a complejos cambios no rígidos, como flexión o rotura. *The Non-rigid Bending test* consiste en visualizar una transformación no rígida continua. Se formulan preguntas espaciales simples sobre la posición de dos marcas en una lámina transparente de plástico doblada. Debe juzgarse la posición relativa de las formas dibujadas cuando la hoja no está doblada (Fig. 17).

En su investigación, estudiaron las habilidades cognitivas necesarias para visualizar eventos rígidos y no rígidos. Emplearon cuatro pruebas de transformaciones mentales: *the Non-rigid Bending test* (de transformación mental continua no rígida), *the Paper Folding test* y *the Mental Brittle Transformation test* (los dos de transformación mental no rígida con transformación rígida local) y *the Mental Rotation test* (de transformación mental rígida).

El resultado en *Mental Brittle Transformation test* y *Paper Folding test*, predijo el rendimiento en *the Nonrigid Bending test* y en *Mental Rotation test*. Sin embargo, el rendimiento en rotación mental no fue un único predictor en flexión mental. Sus resultados son consistentes con la separación de habilidades de simulaciones mentales rígidas y no rígidas.

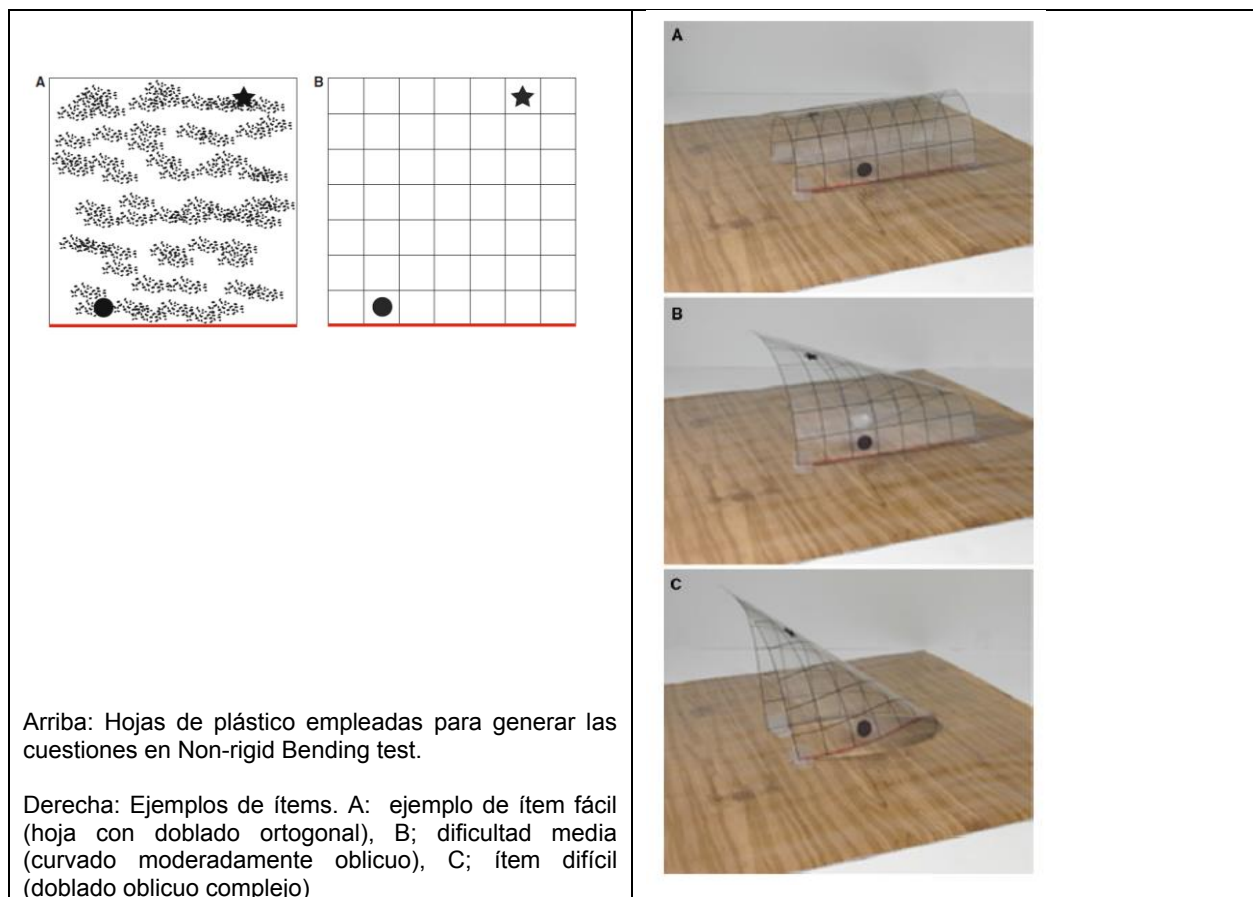


Fig. 17 Ejemplos de *Non-rigid Bending test*

2.4.2 ROTACIÓN MENTAL, CORTE POR UN PLANO Y PLEGADO MENTAL

Se han descrito los test que evalúan las habilidades espaciales y son aplicables en investigación con estudiantes universitarios, en especial de ingeniería. En el siguiente apartado se resumen reflexiones o deducciones relacionadas con la aplicación de dichos test.

Muchas de las tareas espaciales reales (por ejemplo, proyectar una estructura), corresponden a una escala muy superior a las tareas que miden los test estándar. Sería importante saber hasta qué punto pueden relacionarse. Hegarty y otros (2006) evaluaron el grado en que las medidas de capacidad espacial de pequeña escala podían representar las habilidades espaciales a gran escala. Sus resultados indicaron que las diferencias no eran muy grandes; habilidades espaciales a diferentes escalas están parcialmente pero no totalmente disociadas.

Ya se ha mencionado que los estudios difieren en las habilidades espaciales analizadas. Pero en la mayoría de ellos se evalúa la habilidad en rotación mental. Los test más utilizados para tal fin (en rotaciones mentales 3D), son MRT y PSVT:R.

Just y Carpenter (1976) compararon rotaciones mentales de figuras bidimensionales y tridimensionales. Comprobaron que la pendiente de la función de tiempo de reacción fue mayor para las versiones de rotación 3D que para las 2D. Pero aplicando *eye-fixation* vieron que las diferencias correspondían sobre todo a las etapas de búsqueda y confirmación en lugar de a la etapa intermedia de rotación mental.

Shepard y Metzler (1988) realizaron la misma comparación (rotaciones de figuras 2D con las de figuras 3D) y comprobaron también que los objetos tridimensionales, una vez han sido codificados, pueden rotarse (mentalmente) tan rápido como las rotaciones 2D. La diferencia de tiempo se emplea principalmente en la codificación inicial. Detectaron que cuando el test es de rotación 2D y el ángulo de rotación está comprendido entre 60° y 180° , se aplica en muchos casos una estrategia (más rápida) de comparar algunos aspectos de la figura antes y después de girarla, sin rotarla mentalmente. Este cambio de procedimiento implicó que los tiempos de reacción para estos ángulos cayeran por debajo de la función lineal de rotación.

Se preguntaban si la diferencia entre las rotaciones de figuras bidimensionales o tridimensionales radica en la diferencia de dimensión. Se planteaban si la similitud de las pendientes de las funciones de tiempo para los casos de dos y tres dimensiones podía resultar de una compensación fortuita entre dimensión y complejidad. Deducían que: a) no depende de la dimensión en sí de la figura rotada (2D o 3D), b) Depende de que el eje de rotación sea un eje natural del objeto o de la complejidad del objeto. C) La pendiente de la función de tiempo de reacción puede ser ligeramente mayor para objetos tridimensionales, no porque la tarea de

imaginar su rotación sea más lenta, sino porque los diferentes procesos de búsqueda y de comparación requieran más tiempo en 3D que en 2D.

Las pruebas de rotación mental y de plegado mental tienen versiones en 2D y 3D. El plegado mental, incluso si se presenta en 2D, requiere imaginar un movimiento tridimensional. Pero en las pruebas 2D las figuras dadas son bidimensionales, mientras que en las pruebas 3D al menos una está representada en perspectiva. Igual que con el ángulo para las tareas de rotación mentales, Shepard y Feng (1972) demostraron que *los tiempos de respuesta aumentaban en función del número de caras que deben ser mentalmente plegadas*, que llamaron "*squares carried*" (Shepard y Feng 1972; Harris y otros, 2013).

Hegarty y Waller (2004) explicaban que los resultados psicométricos han apoyado la distinción entre las capacidades mentales que requieren una transformación espacial de un objeto percibido (por ejemplo, rotación mental) y los que implican imaginar cómo se ve una escena desde diferentes puntos de vista. Realizaron dos experimentos que reafirmaron esa disociación. El primer experimento mostró que la separabilidad de rotación mental y toma de perspectiva no depende del test realizado. El segundo generalizó la distinción en entornos de gran escala. Aunque son dissociables, las medidas de toma de perspectiva y rotación mental están muy correlacionadas.

Maeda y Yoon (2013) recopilaron los estudios en los que se había pasado el test PSVT:R entre 1976 y 2011. En total, encontraron 181 estudios. PSVT:R Se ha utilizado principalmente en la investigación sobre entornos educativos, particularmente en las disciplinas STEM, y especialmente se ha utilizado para medir la habilidad en rotación mental de los estudiantes de ingeniería.

Consideran que, en comparación con otras pruebas de rotación mental empleadas en la investigación en educación de ingeniería, PSVT:R es la única donde los objetos 3-D tienen planos oblicuos y superficies curvas, lo que requiere un mayor nivel de capacidad de visualización de los objetos.

Maeda y Yoon enumeran también otras características que apoyan el uso frecuente de PSVT:R, especialmente en la investigación STEM:

- Varios estudios han reportado fiabilidad y / o validez de su uso.
- la capacidad para resolver los ítems está relacionada con la capacidad de resolver tareas que a menudo se encuentran en disciplinas STEM.
- Contiene ítems bastante difíciles de solucionar por estudiantes STEM, para su nivel de habilidad de rotación mental.

- Ha sido citado con frecuencia como la medida de capacidad de rotación mental que más incorpora un pensamiento espacial holístico y menos incorpora un proceso de pensamiento espacial analítico (Negro 2005 ; Branoff 1998 ; Guay et al.,1978).
- Está disponible de forma gratuita para investigadores y es fácil de puntuar debido a su formato de opción múltiple.

Cuando la PSVT:R fue desarrollada, Guay (1980) recomendó el uso de un tiempo límite de 20 minutos. En la resolución de los 30 ítems (40s / ítem), para reducir al mínimo la influencia de la utilización de estrategias analíticas. Explican Maeda y Yoon, que aunque no se sabe si el tiempo límite recomendado es apropiado (por la falta de información proporcionada por Guay), esta recomendación parece que ha recibido poca atención en las investigaciones. Al menos, en la mayoría de los estudios que se utiliza no suele mencionarse el tiempo límite aplicado.

El *Mental Cutting Test* (MCT) se ha empleado en numerosos estudios con estudiantes de ingeniería (Saito y otros, 1998; Suzuki y otros, 1992; Sugai y Suzuki, 1999; Adanez y Velasco 2002). Saito, Suzuki y Jingu (1998) proponían una clasificación de los ítems de MCT en *ejercicios de forma* y *ejercicios de dimensiones* (*pattern and quantity problems*), que se ha empleado en numerosas investigaciones posteriores. En los ejercicios de *forma*, la solución se determina mediante la identificación de la forma de la sección. En los ejercicios de *dimensiones*, la solución está determinada por la identificación no sólo de la forma de la sección, sino también de sus dimensiones (por ejemplo, longitudes de lados y ángulos), porque hay opciones entre las soluciones con la misma forma (Fig. 18).

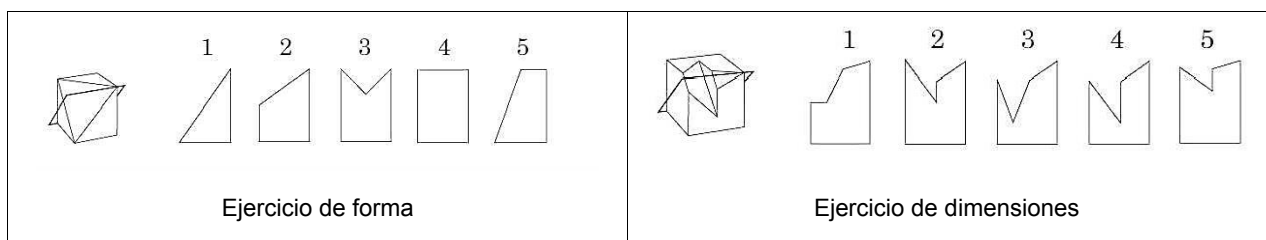


Fig. 18 Ejemplos de ítems de Mental Cutting Test

Adanez y Velasco (2002) analizaron la dificultad media de los problemas de forma y dimensiones para averiguar si la forma de trabajo influía en la complejidad cognitiva. La diferencia no fue estadísticamente significativa. Sin embargo, debido al escaso número de ítems de dimensiones, informaron que los resultados no podían considerarse como concluyentes.

Se cuestionaron también cuáles eran las características de las tareas representativas de baja y alta capacidad. Pero, como explicaban Adanez y Velasco, este objetivo no estaba exento de dificultades, ya que, como ocurre en muchas pruebas clásicas, la construcción MCT no se basó

en un modelo cognitivo explícito que pudiera derivarse de las condiciones de trabajo asociados a las capacidades cognitivas.

Resolver los ítems del test MCT exige capacidad para representar mentalmente el objeto y el plano representados y gestionar con precisión las características de los elementos ocultos. La validez de MCT ha sido analizada por medio de análisis factorial exploratorio, a partir de análisis de protocolos verbales y fijaciones oculares (*eye fixations*) registradas durante el proceso de resolución (Makino, Saito, Shiina y Suzuki, 1992) y de análisis de errores realizados por expertos y novatos (Saito, Makino, Shiina y Suzuki, 1994).

Los autores de estos estudios concluyeron que la puntuación en MCT refleja la capacidad de los estudiantes para realizar y manipular imágenes mentales de objetos tridimensionales a partir de los dibujos en perspectiva. Las principales razones de los errores radicaban en la dificultad para interpretar bien el sólido, reconocer la posición del plano de corte y transformar la sección a verdadera magnitud. Concluían que el *Mental Cutting Test* es un excelente indicador de visualización.

2.4.3. RELACIÓN ENTRE PRUEBAS DE HE Y EXPRESIÓN GRÁFICA

Algunos investigadores han demostrado que los test de “visualización” pueden predecir moderadamente bien el resultado académico de asignaturas gráficas en ingeniería (Adanez y Velasco, 2002), mientras que los de rotación mental no (Peters y otros, 1995).

Torner (2009) comprobó que el test de rotación mental MRT no parecía ser un buen instrumento de medida debido a su falta de relación con las notas de la asignatura de Expresión Gráfica. Sin embargo, demostró que había una clara correspondencia con el test de plegado mental DAT-SR, especialmente en la prueba que evaluaba el conocimiento de geometría espacial. Este hecho le induce a afirmar que vale la pena aumentar las actividades didácticas relacionadas con la geometría del espacio.

Otros autores han demostrado una relación significativa entre un alto rendimiento en MCT y la capacidad de modelar en 3D. Steinhauer (2012) comprobó que los estudiantes que se desempeñaron mejor en MCT hacían modelados 3D más maduros que los estudiantes que lo hicieron peor. Tsutsumi también sugería que MCT puede predecir mejor la habilidad de modelado 3D de los estudiantes que PSVT:R, más comúnmente utilizado. Puede deberse a que MCT requiere identificar la sección transversal de una pieza mientras que PSVT: R requiere identificar la orientación adecuada. De estas dos tareas, MCT se relaciona más estrechamente con la teoría y el enfoque de modelado de sólidos.

2.5 ESTRATEGIAS EN RESOLUCIÓN DE TAREAS ESPACIALES

En este apartado se resumen los resultados de investigaciones relacionadas con estrategias aplicadas a tareas de visión espacial. Se identifican los tipos de estrategias detectadas, su eficacia y su relación con algunas variables demográficas.

Varios estudios han demostrado que en las pruebas de habilidades espaciales pueden emplearse diversas estrategias que no tienen por qué ser únicamente espaciales. Los test de HE difieren en el número y tipo de estrategias que pueden ser aplicadas con éxito para resolverlos (Cochran y Wheatley, 1989). Diferentes individuos utilizan diferentes estrategias, y la misma persona puede utilizar una estrategia flexible adaptándose a las necesidades de cada ítem (Kyllonen y otros, 1984; Gluck y Fitting, 2003; Hegarty y Waller, 2004; Hegarty, 2010; Strasser y otros, 2010).

2.5.1 DIFERENCIAS ENTRE ESTRATEGIAS

Puede parecer que los test de visualización espacial son pruebas puras sobre la capacidad de construir y transformar las imágenes mentales. Sin embargo, las personas utilizan una variedad de estrategias en las pruebas de habilidades espaciales, incluyendo estrategias analíticas (Geiser y otros, 2006). Por ejemplo, las rotaciones mentales pueden completarse sin rotar mentalmente toda la figura, mediante la comparación de algunos aspectos específicos antes y después de la rotación. La simulación mental es una estrategia importante en el pensamiento espacial, pero se ve aumentada por estrategias más analíticas, como la descomposición de tareas y el razonamiento basado en reglas (Hegarty, 2010).

Gluck y Fitting (2003) comprobaron que en todos los dominios de cognición espacial pueden distinguirse dos tipos de estrategias: Holísticas y analíticas. Varios autores apoyan esta clasificación (Hsi y otros, 1997; Burin y Delgado, 2000; Hegarty, 2010). La estrategia *holística* se basa en la visualización de todo el objeto y la estrategia *analítica* utiliza un enfoque sistemático, paso a paso (Linn y Petersen, 1985; Sorby, 2009). La estrategia *holística* manipula la información de forma *espacial en su conjunto*, como un todo, en una representación mental donde se mantienen y aplican las relaciones espaciales entre elementos. La estrategia *analítica* implica manipular la información espacial reduciéndola al mínimo. Gluck y Fitting (2003) diferencian otra estrategia *intermedia* entre espacial holística y analítica.

Por ejemplo, en una tarea de rotación mental, rotar mentalmente toda la figura es una *estrategia espacial holística (Imagery strategy)*. Rotar mentalmente una parte de la figura implica una *estrategia analítica espacial (spatial analytic strategy)*. Una *estrategia analítica pura*

(*pure analytic strategy*) puede consistir en comparar una cara o arista de la figura antes y después del giro.

Hsi y otros (1997) Distingúan tres tipos de estrategias aplicadas a la resolución de problemas espaciales en la práctica profesional de la ingeniería: *holística*, *analítica* y “*template o patterned-based*”. Ésta última implica la abstracción del problema a elementos familiares, a casos resueltos previamente.

2.5.2 ESTRATEGIAS MÁS ÓPTIMAS

Varias investigaciones han demostrado que *una preferencia por una estrategia holística espacial conduce a un mayor rendimiento* (Cochran y Wheatley, 1989; Meneghetti y otros, 2012). La mayoría afirman que *la estrategia más óptima es una estrategia flexible*, que seleccione la mejor para cada ítem (Linn y Petersen, 1985). Hegarty (2010) investigó las estrategias aplicadas a la resolución de tareas espaciales complejas en dominios de mecánica, química y medicina. Demostró que la inteligencia espacial comprende no sólo habilidad de visualización, sino la elección de una estrategia flexible entre visualización y un pensamiento más analítico. La habilidad de cambiar de una estrategia a otra es un importante componente de rendimiento espacial (Kyllonen y otros, 1984). Las personas con un repertorio más amplio de estrategias pueden seleccionar mejor la estrategia óptima para una tarea (Strasser y otros, 2010).

Just y Carpenter (1985) y Gluck y Fitting (2003) comprobaron que la *flexibilidad de estrategias crece con la complejidad de la tarea*. La mayoría de las personas pueden resolver las tareas espaciales más fáciles con una estrategia espacial holística y aplican estrategias más analíticas cuando la tarea se complica. Además suele emplearse más de una estrategia para resolver una tarea. Normalmente las estrategias analíticas requieren más tiempo pero menos esfuerzo porque la información representada es menos compleja. La persona que es capaz de aplicar una estrategia espacial holística tiene más capacidad para aplicar una estrategia analítica si la tarea lo requiere (Kyllonen y otros, 1984). Los individuos con habilidades espaciales más pobres, optan por utilizar las estrategias espaciales holísticas con menos frecuencia (Laski y otros, 2013).

Un ejemplo de *descomposición de tareas* (Hegarty, 2010), se ve en la Fig. 19, de un sistema de poleas. A partir de protocolos verbales, mediciones de tiempos de respuesta y sistemas de *eye fixation*, Hegarty analizó el pensamiento espacial. Cuando se preguntaba a los participantes sobre el movimiento de la polea central, miraban ese componente y los anteriores en la cadena

causal de eventos, pero no los posteriores. Es lógico porque el razonamiento mecánico implica propagar los efectos de las interacciones locales entre componentes secuencialmente. Pero en procesos estáticos, también se produce: en una sección transversal en anatomía, los participantes descomponían las tareas; primero determinaban la forma exterior de la sección transversal, después analizaban cuántos conductos atravesaba el plano de corte y finalmente dónde debían estar. Los participantes no visualizaban el conjunto como un “todo” (Fig. 20).

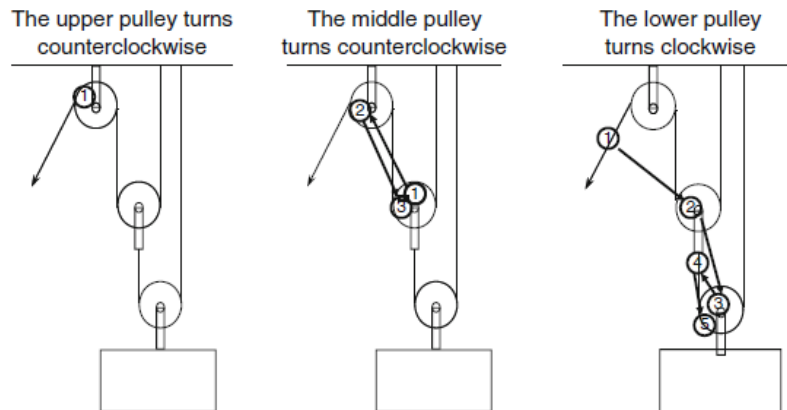


Fig. 19 Secuencia de *eye fixation* en tres ensayos de razonamiento mecánico diferentes. Consistía en deducir cómo giraría una polea en un sistema de poleas al estirar la cuerda. Fuente: Hegarty, 2010

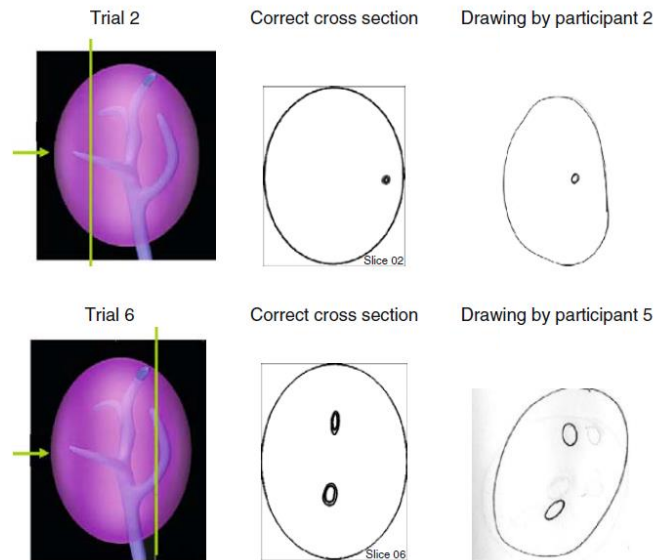


Fig. 20 Ejemplo de dos ensayos diferentes. Consistía en dibujar la sección producida por el plano
Fuente: Hegarty, 2010.

Un ejemplo de *razonamiento basado en reglas* descrito por Hegarty corresponde al engranaje de la Fig. 21. Cuando se pedía a los participantes que resolvieran el ejercicio, de entrada

simulaban mentalmente el movimiento, pero cuando descubrían que las dos ruedas giraban en sentidos opuestos, aplicaban esa regla. Si se les daba un nuevo tipo de problema de engranajes, volvían a la estrategia de simulación mental. Algunos investigadores han sugerido que las estrategias holísticas visuales en resolución de problemas de dominio general, son utilizadas, por defecto, por novatos o por expertos en situaciones nuevas, mientras que las estrategias analíticas basadas en normas se aprenden o descubren en el curso de la instrucción y son utilizadas por los expertos en la resolución de problemas rutinarios (Schwartz y Negro, 1996; Stieff, 2007).

When the handle is turned in the direction shown,
which direction will the final gear turn?
(if either, answer C.)

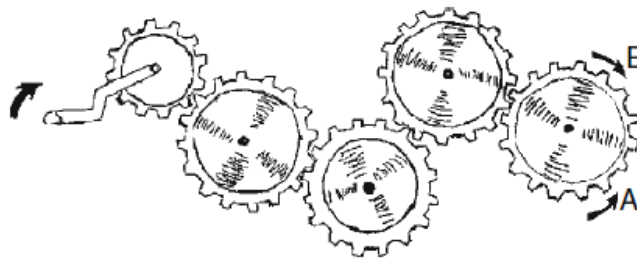


Fig. 21 Ejemplo de ejercicio de engranaje. Fuente: Hegarty et al. 2005, Hegarty, 2010

Hegarty opina que los “*High-spatial visualizers*” tienden a abstraer sólo la información necesaria para resolver un problema espacial. Tienen éxito en la resolución de test de habilidades espaciales, pero menos éxito en los problemas que dependen de detalles de imágenes. Al contrario, los “*Low-spatial visualizers*” detallan mentalmente las imágenes que ven, tienden a representar mentalmente irrelevantes detalles cuando hacen los test de HE y, por tanto, obtienen peores resultados.

Algunos investigadores sostienen que las pruebas de plegado mental son más susceptibles al uso de estrategias analíticas que las de rotación mental. (Lohman, 1979). Incluso Linn y Petersen (1985) consideraban que en el plegado mental siempre se emplean estrategias analíticas y en la rotación mental no. Sin embargo, explican Harris y otros (2013) que hay un tipo de personas conocidas como “no rotadores” que no suelen resolver los ejercicios de rotación mental girando mentalmente el objeto como una pieza entera (Geiser y otros, 2008).

La estrategia verbal (verbalizar mentalmente cuando se piensa) se considera una estrategia analítica y algunos estudios han deducido que hay una relación entre un rendimiento espacial

alto y no usar estrategia verbal (Cochran y Wheatley, 1989). Otra estrategia utilizada en tareas espaciales es la gestual. (Göksun y otros, 2013) analizaron los gestos que hacían los participantes de su estudio cuando explicaban cómo habían resuelto unas tareas de rotación mental. Los individuos con baja capacidad espacial, gesticulan más que los de alta capacidad para transmitir información estática, pero menos que los de alta capacidad para transmitir información dinámica.

2.5.3 DIFICULTADES AÑADIDAS A LA RESOLUCIÓN DE PRUEBAS ESPACIALES

Para abordar con éxito determinadas tareas espaciales y aplicar la estrategia adecuada, intervienen otros factores relacionados que pueden dificultar la resolución. Los más habituales son: problemas en memoria de trabajo y problemas de interpretación de los dibujos en perspectiva.

MEMORIA DE TRABAJO

Muchas tareas espaciales, como la rotación mental, requieren memoria de trabajo (*working memory*) y están obviamente afectadas por la cantidad de información que se puede mantener simultáneamente en la memoria. Las personas que no pueden retener la información, la pierden y no consiguen transformarla (Hegarty y Waller, 2005). Just y Carpenter (1976) demostraron que los participantes con malos resultados en *Cube Comparisons test*, a menudo tenían que rotar una cara particular del cubo más de una vez, porque habían perdido una representación intermedia. Las mejoras relacionadas con la formación en la rotación mental y otras tareas espaciales se producen también, probablemente, a través de algunas vías cognitivas básicas, como la mejora de la atención y la memoria (Uttal y otros, 2013).

INTERPRETACIÓN DE PERSPECTIVAS

La ambigüedad de algunas perspectivas puede ser un poco responsable de los malos resultados de los participantes en algunas pruebas. Cohen y Hegarty (2014) sugerían dibujar los modelos en 3D sombreados o utilizar pantallas de realidad virtual, que ofrecen beneficios adicionales, como la capacidad de recoger las latencias de respuesta e información sobre las estrategias de solución (Kaufmann, 2008). Robert y Chevrier (2003) proporcionaron los enunciados de MRT en modelados 3D y comprobaron que los tiempos de respuesta fueron más cortos y la precisión mayor.

Se han realizado varias investigaciones relacionadas con el test MCT: Tsutsumi y otros (1999) aplicaron una versión de MCT estereográfica (SMCT) y Ping (2015) comparó la diferencia de resultados dando los datos en dos formatos diferentes; las perspectivas habituales y las figuras

modeladas sombreadas (Fig. 22). Llegaron a la misma conclusión: los sujetos con bajas puntuaciones tampoco parecían ser capaces de formarse una imagen correcta del sólido ni del plano de corte. Sólo se apreciaba mejoría en algunos ejercicios. En 2004, Tsutsumi realizó un estudio donde requería el dibujo de las intersecciones sobre la perspectiva del enunciado, pensando que estimularía el reconocimiento de los sólidos (Fig. 23). Pero la mayoría de las participantes que obtuvieron puntuaciones bajas, no consiguieron hacer el dibujo porque no eran capaces de imaginar el sólido a partir de la perspectiva. Tsutsumi y otros (2008) ofrecieron la posibilidad de girar los sólidos y ver los elementos inicialmente ocultos (Fig. 24). La puntuación media fue significativamente alta en comparación con la de MCT estándar, pero a pesar de todo, se cometieron muchos errores. Estos resultados podrían sugerir que la interpretación de la perspectiva es una habilidad espacial importante. Violante y Vezzetti (2014) deducían de su investigación que una HE alta ayuda al estudiante a manejar conceptos con dibujos 2D y 3D, mientras que los alumnos con baja habilidad lo hacen peor en 2D que en 3D.

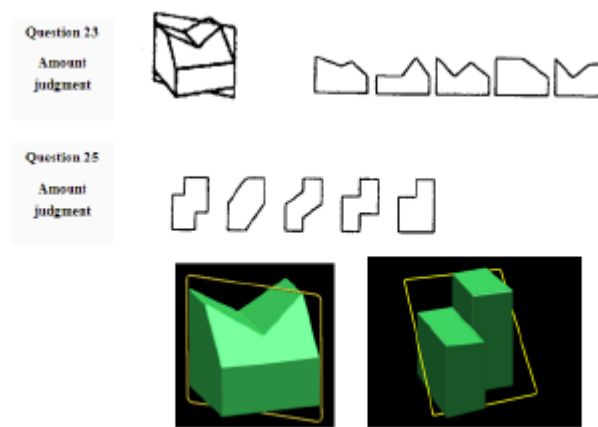


Fig. 22 Ejemplo de enunciado modelado de ítems en MCT. Fuente: Ping 2015

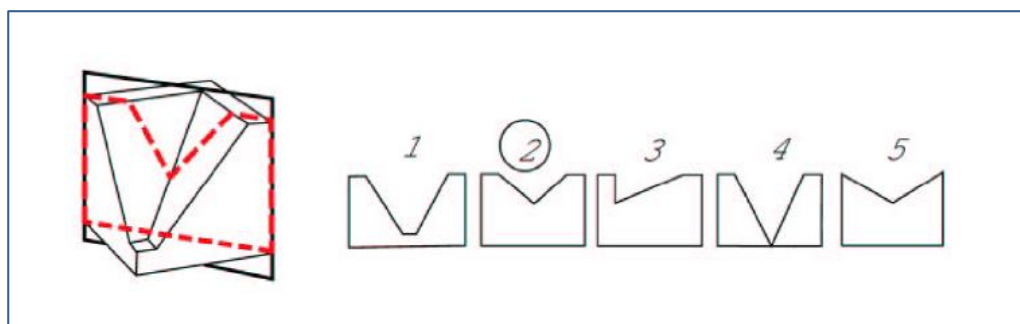


Fig. 23 Ejemplo de dibujo de intersección en perspectiva de enunciado en ítem de MCT- Fuente: Tsutsumi 2004

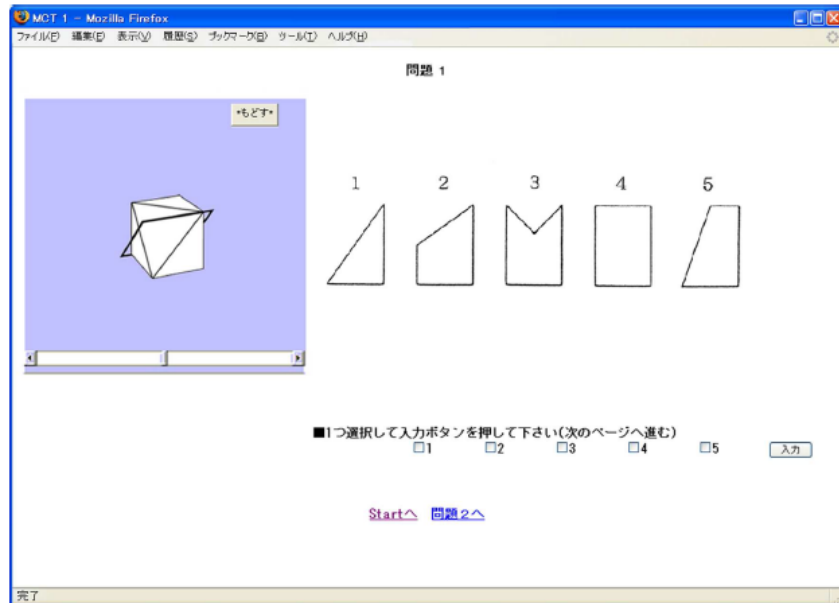


Fig. 24 Ejemplo ítem de MCT. Posibilidad de girar el sólido. Fuente: Tsutsumi 2008

Branoff (2000) Investigó la diferencia de resultados entre el estándar PSVT:R, donde las perspectivas de las figuras son isométricas, y una versión modificada, con perspectivas trimétricas. (Fig. 25). A pesar de que no encontró una diferencia significativa entre el grupo de control (estándar PSVT:R) y el grupo experimental (PSVT:R en trimétrica), sí hubo diferencia en los tiempos empleados. Lógicamente, la interpretación inicial del objeto es más fácil en trimétrica. A partir de la entrevista, el autor detectó también confusiones en la interpretación del sólido en los últimos ítems en isométrica debido a aristas coincidentes.

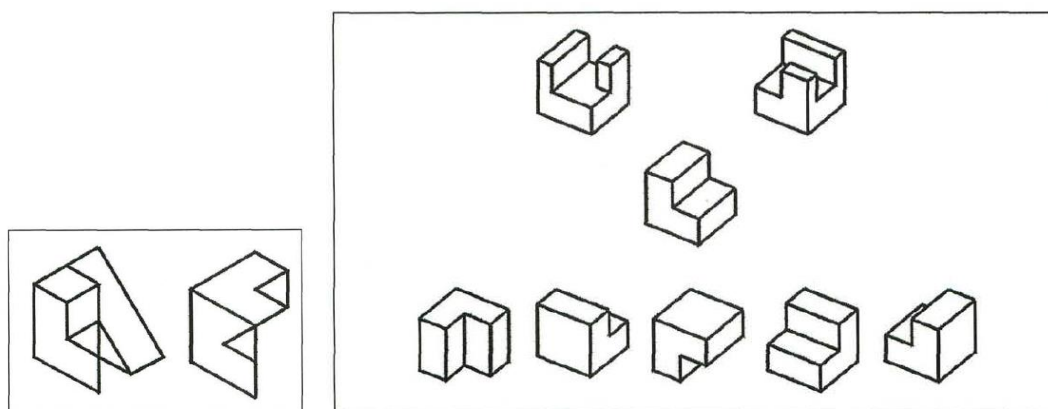


Fig. 25 Ítems de PSVT:R. Izda: ejemplo de isométrica confusa. Dcha: ejemplo de ítem en trimétrica.

Fuente: Branoff 2000

Gluck & Fitting (2003) sugerían que las pruebas de habilidad espacial podrían integrar la evaluación de estrategias y daban algunas sugerencias concretas: latencias de respuestas (response latencies), análisis de patrones de respuestas (response pattern analyses), análisis de patrón de errores (error pattern analyses) y auto-informe (self-report).

2.5.4 DIFERENCIAS DE GÉNERO EN ESTRATEGIAS

Se ha escrito mucho sobre la diferencia de género en habilidades espaciales. Los hombres suelen obtener mejores resultados en pruebas de rotación mental, percepción espacial y orientación, mientras que las mujeres suelen ser más eficientes en pruebas de memoria de localización de objetos en matrices lineales (Linn & Petersen, 1985; Voyer y otros, 1995; Halpern y otros, 2007; Silverman y Phillips, 1998; Lippa y otros, 2010; Duff y Hampson, 2001). Algunos investigadores afirman que la tarea que genera mayores diferencias a favor de los hombres es la rotación mental (Peters y otros, 1995).

Varios estudios apoyan que las distintas estrategias utilizadas por hombres y mujeres podrían justificar las diferencias de resultados a favor de los hombres. Contemplan diferentes aspectos: aplicación de diferentes tipos de estrategias (holísticas versus analíticas), diferente velocidad de trabajo, diferente habilidad para interpretar las perspectivas, estereotipos negativos para las mujeres y estrategias neuronales diferentes.

ESTRATEGIAS HOLÍSTICAS VS. ESTRATEGIAS ANALÍTICAS

Otros trabajos, como éste, no detectaron diferencias de estrategias, o en todo caso, eran mínimas. Por ejemplo, en la tarea de visualización Vz (Burin y Delgado, 2000), en rotación mental (Gluck y Fitting, 2003) y en DAT (Cochran y Wheatley, 1989). Consideraban que solamente en pruebas espaciales difíciles pueden existir diferencias de estrategias entre hombres y mujeres; si los ejercicios son simples casi no existen estrategias analíticas eficientes. Peters y otros (1995) observaron efectos mínimos en MRT: las mujeres usaban más estrategias verbales y gestuales que los hombres. Pero no vieron distinciones en el tiempo empleado para resolver los ítems ni creció la diferencia de resultados con la dificultad de la tarea.

Pletzer (2014) revisó la literatura sobre el uso de estrategias en las tareas cognitivas (no solo espaciales) y dedujo que las estrategias masculinas son comúnmente holísticas y orientadas a aspectos globales de estímulo, mientras que las estrategias femeninas son comúnmente analíticas, descompuestas y orientadas hacia aspectos de estímulo locales. Esta singularidad puede justificar que los hombres tengan un repertorio más amplio de estrategias espaciales (incluyendo holísticas) y, por tanto, obtengan mejores resultados de promedio en las pruebas

de HE (Cohen y Hegarty, 2014). Linn y Petersen (1985) observaron esta diferencia en tareas de rotación mental, donde las estrategias analíticas son menos eficientes porque requieren más tiempo, pero no en visualización espacial, que se caracteriza por permitir múltiples estrategias; una combinación de estrategias analíticas y holísticas. Peña y otros (2008) comprobaron en un estudio con el test SODT-R; una tarea espacial dinámica, que hombres y mujeres empleaban distintas estrategias, pero cuando ambos aplicaban estrategias holísticas, la diferencia de resultados se reducía notablemente.

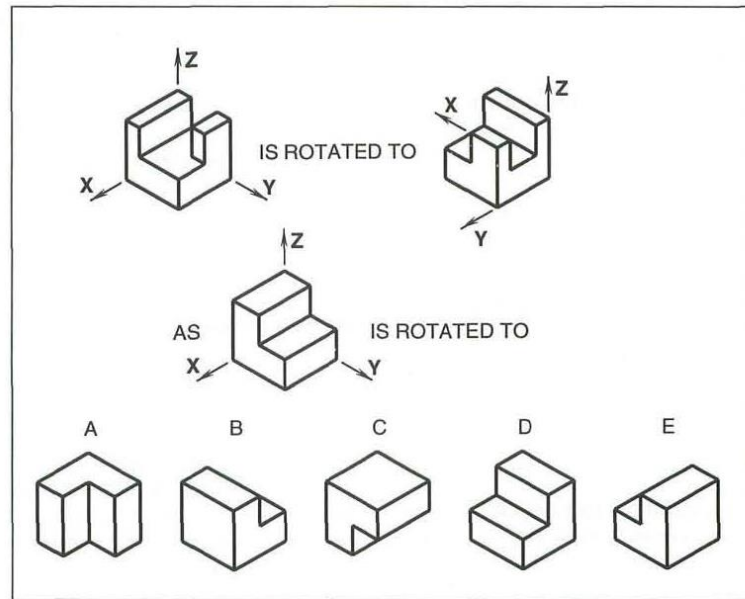


Fig. 26 Ejemplo de ítem de PSVT-R incluyendo ejes de coordenadas. Fuente: Branoff 2009a

Branoff (2009) Estudió si el hecho de incluir ejes de coordenadas en el test PSVT mejoraba el resultado y los tiempos de respuesta (Fig. 26). No se encontraron efectos significativos en el rendimiento del test. Sin embargo, eliminó la diferencia de género. El análisis de tiempos de respuesta indicó que se requería más tiempo para procesar la información adicional de los ejes de coordenadas, incluso para los alumnos que utilizaban una estrategia holística. Quizás provocaba un cambio de aplicación de estrategia holística a una analítica para procesar la información.

VELOCIDAD DE TRABAJO

Algunos investigadores han deducido que las diferencias de género en los resultados de las pruebas de habilidad espacial pueden deberse a que las mujeres trabajan más lentamente. A los hombres suele afectarles poco las condiciones de tiempo, mientras que las mujeres son más propensas a acertar cuando disponen de más tiempo para responder. Las diferencias

varían en función del tiempo empleado para realizar el test; cuanto menor es el tiempo, mayor es la diferencia. Voyer y otros (2004 y 2011) y Maeda y Yoon (2013) observaron grandes diferencias de género en la tarea de rotación mental PSVT:R con una condición de tiempo límite estricto, mientras que si la condición de tiempo era indulgente, las diferencias se acortaban.

INTERPRETACIÓN DE PERSPECTIVAS

Se han analizado también diferencias de género en estrategias de respuesta y en interpretación de las perspectivas de las pruebas de habilidad espacial. Hirnstein y otros (2009) observaron que los hombres confían más en una estrategia de respuesta “de salto” que las mujeres, sin revisar todas las opciones. Iwanowska y Voyer (2013) aplicaron en su investigación varios test y comprobaron que los hombres obtenían puntuaciones más altas que las mujeres en ítems 2D que requerían conversión a 3D, aunque no a la inversa.

Robert y Chevrier (2003) dieron los enunciados del test MRT en modelados 3D y compararon los resultados con los obtenidos dando los enunciados tradicionales. Para ambos sexos, se redujeron los tiempos de respuesta y la precisión mejoró. La velocidad de los hombres fue superior que la de las mujeres, pero no encontraron diferencias ni en la precisión ni en la comprobación de la respuesta. Los hombres usaron con menos frecuencia que las mujeres estrategias analíticas, como la descripción verbal de los objetos o concentrarse en sus principales características e hicieron menos gestos.

ESTEREOTIPOS NEGATIVOS

Los estereotipos negativos acerca de las habilidades espaciales de las mujeres pueden influir en sus resultados. Las mujeres tienen que lidiar con el estereotipo de que los hombres son mejores en las tareas espaciales. A pesar de que en algunas tareas se encuentran a la par de los hombres, o incluso mejor (por ejemplo, en memoria de localización de objetos) (Veurink y otros, 2009).

Moè, Meneghetti y Cadinu (2009) comprobaron que la teoría de la superioridad masculina en tareas de rotación mental, afectaba al uso de estrategias espaciales holísticas en MRT; creencias positivas en mujeres favorecía el uso de estas estrategias y, por tanto, mejores resultados.

Wraga y otros (2007) observaron en un estudio con neuroimagen que los estereotipos negativos promueven menos estrategias neurológicas eficientes y crece la carga emocional,

mientras que los estereotipos positivos están asociados con alta activación en áreas de proceso visual y de trabajo de memoria (Frick y otros, 2014).

DIFERENCIAS NEUROFUNCIONALES

Hill, Laird y Robinson (2014) detectaron diferencias neurofuncionales de género subyacentes en la *working memory* (WM) que sugiere que hombres y mujeres emplean estrategias distintas para resolver problemas complejos. Demostraron redes de WM consistentes en los dos sexos: la VWM (verbal) preferentemente emplea el hemisferio izquierdo, y la SWM (espacial) se asocia con un patrón de activación más disperso entre ambos hemisferios. Pero encontraron redes específicas de género: las mujeres activan estructuras más límbicas y prefrontales, mientras que los hombres activan una red que incluye más regiones parietales.

Alarcón y otros (2014) también demostraron que hombres y mujeres adoptan estrategias neuronales distintas en tareas de spatial working memory. Examinaron las diferencias en rendimiento y BOLD (*blood oxygen level-dependent activation*) en un grupo de adolescentes durante una tarea de SWM. Demostraron que, incluso cuando no había diferencia en el resultado de la tarea, la respuesta BOLD era distinta: las féminas desactivaban regiones de la red por defecto y los varones mostraban un aumento de respuesta en las regiones del córtex prefrontal relacionadas con la SWM. A pesar de ello, los resultados del estudio de Bowers & LaBarba (1988) habían indicado un patrón de control hemisférico derecho para un componente de visualización espacial independiente del sexo y nivel de habilidad

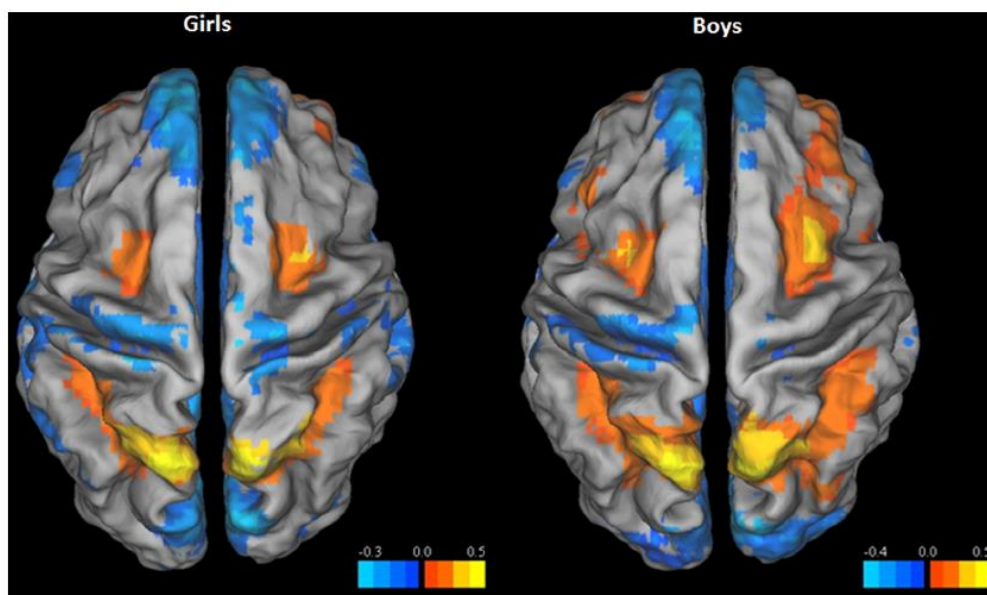


Fig. 27 Representación estadística de porcentaje de *BOLD activation* en mujeres (izda) y hombres (dcha) en una tarea de memoria de trabajo espacial (SWM). Fuente: Alarcón et al. 2014

2.5.5 DIFERENCIAS CULTURALES

Janssen y Geiser (2011) estudiaron las diferencias culturales en las estrategias de resolución de la prueba de rotación mental MRT en estudiantes camboyanos y alemanes. Los alemanes superaron a los camboyanos en puntuaciones. Consideran que las grandes diferencias podrían explicarse porque los participantes de Camboya fueron más propensos a estrategias analíticas, mientras que la mayoría de los alemanes preferían una estrategia holística. Sostienen que las enormes diferencias entre las naciones pueden atribuirse, en parte, a diferencias en el currículo de matemáticas.

2.6 METODOLOGÍAS PARA DESARROLLAR LAS HABILIDADES ESPACIALES

Las habilidades espaciales se van desarrollando a través de nuestra experiencia en la vida (Bertoline, 1998), Pero todas las personas pueden mejorar sus habilidades espaciales con la práctica o formación adecuada. La investigación científica ha demostrado su maleabilidad y se han estudiado diferentes estrategias para desarrollarla. (Uttal y otros, 2013; Kurtuluş, 2013; Crown, 2001; Martín-D. y otros, 2008; Sorby y Baartmans, 2000; Contero y otros, 2005; Cataloglu y Robinett, 2002; Gerson y otros, 2001; Melgosa y otros, 2013; Turgut 2014; Torner y otros, 2014; Rafi y otros, 2006).

Los planes de estudios actuales han comprimido la asignatura Expresión Gráfica en ingeniería, en la mayoría de los casos, a un solo cuatrimestre. Antiguamente se impartía en dos años, lo que permitía que los alumnos tuvieran tiempo suficiente para desarrollar sus habilidades espaciales.

Por otro lado, la expresión gráfica ha sufrido grandes cambios con las nuevas tecnologías. Los contenidos de la materia han tenido que adaptarse a las nuevas herramientas. La docencia debe incluir las explicaciones pertinentes para que nuestros alumnos empleen los programas de CAD eficazmente, aprovechando sus posibilidades: modelen en 3D y hagan los planos correspondientes. El estudio y aplicación de conceptos geométricos se ha modificado para adaptarse al modelado en 3D.

Estos motivos han promovido numerosas investigaciones relacionadas, especialmente en escuelas de ingeniería. Algunos estudios analizan el efecto de un tipo de entrenamiento sobre el desarrollo de la capacidad espacial de sus participantes, comparándolo con un grupo de control. Otros estudian la mejora después de cursar la asignatura de Expresión Gráfica. Todos ellos valoran su éxito mediante la medición de diferentes habilidades espaciales antes y después del curso o entrenamiento aplicado.

Los diferentes test aplicadas en la medición de las HE, las diferencias en la duración de los entrenamientos y la ausencia, en muchos casos, de grupos de control, dificulta una comparación objetiva entre las diferentes estrategias empleadas. Resulta complicado concluir qué tipo o herramienta desarrolla mejor las habilidades espaciales.

Uttal y otros (2013) analizaron rigurosamente 217 estudios de investigación sobre formación de habilidades espaciales. Concluyeron que quizás el hallazgo más importante de su meta-análisis sea que diferentes tipos de entrenamiento pueden ser muy exitosos. Las decisiones sobre qué tipo de capacitación utilizar depende de los objetivos de cada uno, del tiempo del que se disponga y de otros recursos que puedan dedicarse a la formación.

2.6.1 CONSIDERACIONES VARIAS

Uttal y otros (2013) expusieron, a partir de su meta-análisis, varias consideraciones acerca del desarrollo de las habilidades espaciales:

- El hecho de repetir el test mejora el resultado. Es decir, un grupo de control puede mejorar sustancialmente sin entrenamiento formal si repite los test.
- Los individuos de bajo rendimiento pueden mostrar una trayectoria diferente de mejora con el entrenamiento en comparación con los individuos de mayor rendimiento; las puntuaciones más bajas mejoran más.
- Las mejoras relacionadas con la formación en rotación mental y otras tareas espaciales probablemente se producen también a través de algunas vías cognitivas básicas, como la mejora de atención y de memoria. Las HE están obviamente afectadas por la cantidad de información que se puede mantener simultáneamente en la memoria. Varias líneas de investigación indican que la capacidad de atención espacial mejora con el entrenamiento pertinente (por ejemplo, Feng y otros, 2007). Las instrucciones o formación que mejoran las capacidades de memoria de trabajo y atención es probable que mejoren la cantidad de información que los participantes puedan pensar y manejar.
- Muchas de las tareas espaciales y transformaciones se pueden lograr mediante la aplicación de reglas y estrategias.
- Algunas investigaciones (por ejemplo, Sorby, 2009; Sorby y Baartmans, 2000) sugieren que la formación espacial centrada en los estudiantes de ingeniería que se auto-identifican con problemas para las tareas espaciales puede ser particularmente útil. Por supuesto, la formación espacial a edades más tempranas podría ser aún más útil.

2.6.2 QUÉ INSTRUIR. TEORÍAS DE APRENDIZAJE

Hegarty (2012) resumía que las habilidades espaciales, como la rotación mental, se pueden mejorar con la práctica (Wright y otros, 2008), con la instrucción (Gerson y otros, 2001) e incluso jugando con videojuegos (Feng y otros, 2007; Terlecki y otros, 2008). También hay evidencia de los efectos de transferencias de formación a otras tareas espaciales que no se hayan practicado (Wright y otros, 2008) y que permanece meses después de la formación (Terlecki y otros, 2008). Pero en el entrenamiento del pensamiento espacial, ¿qué es exactamente lo que se debe instruir? Si se pretende ser eficaz en el fomento del pensamiento espacial, hay que identificar los componentes básicos de esta forma de pensamiento de manera que la formación puede estar orientada a estos componentes fundamentales.

En opinión de Hegarty (2010) los enfoques actuales para desarrollar la inteligencia espacial se centran en la formación de la capacidad de visualización. Su investigación sugiere que debe ser suplementada por la instrucción de formas más analíticas de pensamiento espacial y las condiciones en que el pensamiento analítico puede completar o sustituir un pensamiento más “visualizador”. Sin embargo, Stieff y otros (2013) alertan sobre el peligro de enseñar estrategias analíticas aisladas. Las estrategias analíticas pueden ser más efectivas cuando se ha enseñado previamente a aplicar estrategias espaciales holísticas o cuando se enseñan en conjunción con ellas.

Cohen y Hegarty (2014) informaron que la evidencia de que las habilidades espaciales pueden mejorar a través de experiencia y formación (Linn y Petersen 1985; Uttal y otros, 2013), ha condicionado que los científicos y educadores estadounidenses consideren la educación sistemática de las habilidades de pensamiento espacial en todos los niveles de educación (National Research Council, 2006, p.10).

Aún quedan preguntas sobre cómo entrenar mejor las habilidades de pensamiento espacial y la naturaleza del aprendizaje que se produce como resultado de la formación:

- ¿Qué herramientas y métodos de instrucción conducen a las ganancias y la transferencia de rendimiento?
- ¿Cuáles son los mecanismos psicológicos que mejoran el rendimiento y la transferencia después del entrenamiento?

Los estudios en psicología y educación han considerado dos teorías de aprendizaje tras un entrenamiento de visualización espacial:

- Uno propone que las ganancias del rendimiento reflejan una mayor cantidad de imágenes acumuladas durante el entrenamiento, y que no se transfiere a otros ejercicios diferentes de los entrenados. Apoyan la teoría de que la práctica en una tarea aumenta la fuerza y / o el número de representaciones en memoria, pero no los procesos subyacentes que rigen la transformación.
- La otra teoría propone que la mejora en el rendimiento después del entrenamiento puede explicarse por un mayor procesamiento mental. Por ejemplo, Wright y otros (2008) comprobaron transferencia de un entrenamiento en rotación mental al plegado mental y lo atribuyeron a la mejora en interpretar las figuras a partir de los dibujos en perspectiva.

2.6.3 HERRAMIENTAS Y MÉTODOS PARA EL DESARROLLO DE LAS HABILIDADES ESPACIALES

Los investigadores coinciden en que el entrenamiento produce mejoras en la habilidad espacial, especialmente en los individuos con valores más bajos. Se han elaborado materiales didácticos con el fin de mejorar esta capacidad y se han utilizado diversas tácticas: croquis a lápiz, videojuegos, plataformas multimedia y web, realidad virtual y aumentada, objetos físicos, software de modelado 3D...

En este apartado se recogen las investigaciones realizadas para desarrollar las habilidades espaciales en estudiantes de ingeniería. Algunos grupos han contribuido de forma especial en su investigación. A nivel nacional destaca el grupo DEHAES de la Universidad de La Laguna (ULL) y la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y a nivel internacional el equipo de Sorby de Michigan Technological University (MTU), EEUU.

La revisión bibliográfica e investigación realizada en este trabajo, conduce a concluir que existen diferentes métodos para desarrollar las habilidades espaciales, pero no se puede deducir cuál es más efectivo. A la misma conclusión llegaron Uttal y otros (2013) en su meta-análisis y otros autores que han comparado diferentes cursos de entrenamientos, por ejemplo Martín-D. y otros (2008).

A continuación se exponen las diferentes metodologías que pueden desarrollar las habilidades espaciales. Se han realizado investigaciones sobre la mejora de las HE después de cursar la asignatura de Expresión Gráfica y sobre cursos o herramientas específicas de entrenamiento.

Al final del apartado se muestran unas fichas resumen de las investigaciones analizadas.

DIBUJAR A MANO ALZADA. CROQUIS

Leopold y otros (2001) estudiaron el efecto sobre las habilidades espaciales de cursos de geometría descriptiva en tres universidades: Michigan Technological University, EEUU; University of Kaiserslautern, Germany y Cracow University of Technology, Poland. Compararon También los programas de la asignatura de geometría descriptiva en dichas universidades. Comprobaron que *los cursos de dibujo y croquis mejoraron más las HE que los cursos de CAD.*

En 2004 realizaron una investigación con estudiantes universitarios que no eran de ingeniería (Sorby, 2009). Todos los cursos obtuvieron mejoras, pero aquellos que habían participado en actividades de croquis tenían significativamente mayores ganancias en habilidades espaciales en comparación con aquellos que no lo hicieron. Esta investigación reforzaba los resultados de

sus estudios anteriores, que mostraban la importancia de dibujar para desarrollar las habilidades espaciales. Sin embargo, cuando se preguntó a los participantes cuál era su metodología preferida, la mayoría indicó que les hubiera gustado trabajar únicamente con software de CAD, a pesar de que, según sus resultados, este método parecía ser menos eficaz.

Sorby concluye: “*La importancia de dibujar para el desarrollo de las habilidades espaciales no puede ser subestimada*”.

Maizam Alias y otros (2002) Actividades para desarrollar las Habilidades Espaciales en la asignatura diseño estructural. Tun Hussein Onn University College of Technology. Malaysia.

Programaron una serie de actividades específicas para desarrollar las habilidades espaciales de estudiantes de ingeniería civil en la asignatura de diseño estructural. Consistía en manipular objetos y dibujar a partir de la observación y la imaginación. Hombres y mujeres mejoraron igual con la intervención.

Observaron que la capacidad de visualización espacial está directamente relacionada con la tendencia al uso del croquis y dibujo e indirectamente vinculados con la apreciación de los estudiantes sobre el rol profesional del croquis y dibujo (Fig. 28).

Cohen y Hegarty (2014) consideran que en la formación del pensamiento espacial, dibujar puede proporcionar *feedback* neural de apoyo al aprendizaje. El hecho de dibujar y copiar ayuda a codificar con precisión la información de configuraciones espaciales.

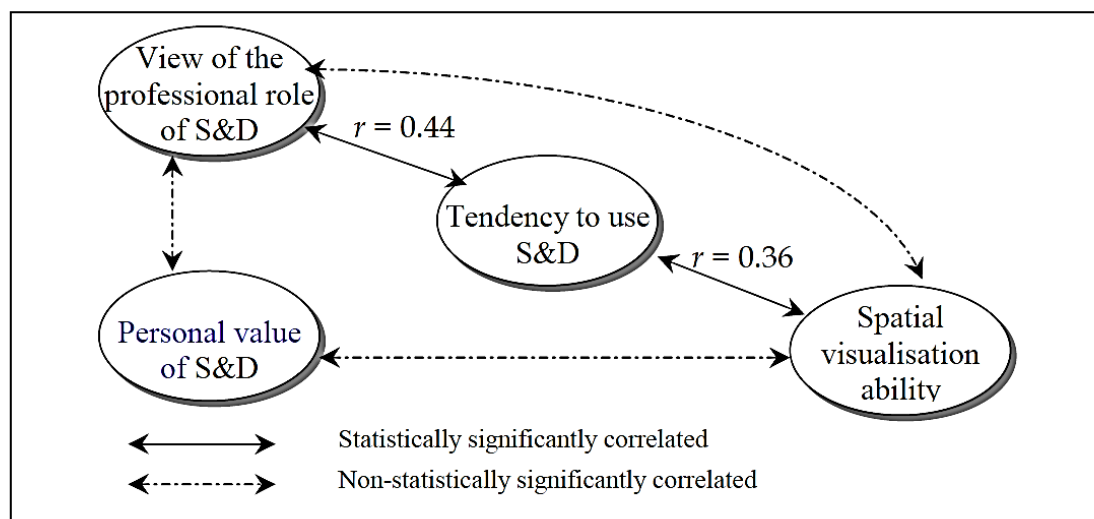


Fig. 28 Modelo sugerido sobre las relaciones estadísticas entre las actitudes hacia el *Sketching* y *Drawing* (S & D) y la capacidad de visualización espacial de los estudiantes de ingeniería. Fuente: Alias et al. 2002

EJERCICIOS ESPECÍFICOS DE LÁPIZ Y PAPEL

Baartmans y Sorby (1995). *Introduction to 3-D Spatial Visualization*. Michigan Technological University, EEUU

En 1993 obtuvieron una subvención de *National Science Foundation* (NSF) para desarrollar un curso dirigido a estudiantes con dificultades en habilidades espaciales de primer año de ingeniería. Publicaron en un libro los materiales aplicados (Sorby y Baartmans, 1995) (Fig. 29).

Entre 1993 y 2004 impartieron cursos de introducción a la visualización. Sorby (2009) explica los hallazgos más importantes de su larga investigación para identificar las estrategias que incrementan las habilidades espaciales.

Los temas del libro se establecieron en el orden que consideraron más adecuado para adquirir habilidad espacial:

- Croquis de vistas isométricas a partir de vistas ortográficas.
- Croquis de vistas múltiples de objetos simples
- Transformación de 2D a 3D (plegado mental)
- Sistemas de coordenadas 3D
- Transformaciones de objetos, incluyendo traslación, escala, rotación y simetría
- Cortes de sólidos por un plano
- Superficies y sólidos de revolución
- Combinación de objetos a partir de cortes, uniones e intersecciones.

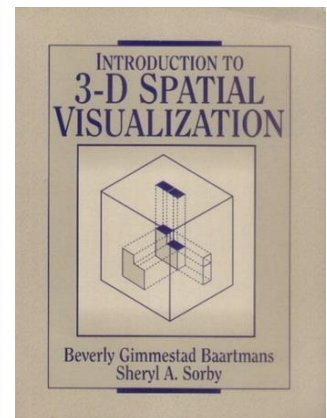


Fig. 29 Portada libro Sorby & Baartmans 1995

En 1998 obtuvieron una segunda subvención para crear software multimedia y un libro de trabajo para actualizar el anterior.

Entre 1993 y 1998 impartieron cursos de entrenamiento de 10 semanas, con 2h clase/semana, donde se explicaban los temas y realizaban ejercicios. Además impartían 2h de laboratorio de modelado CAD 3D relacionado con las clases teóricas. En 1998 el software multimedia reemplazó los ejercicios de CAD en algunas sesiones de laboratorio. Midieron las HE *pre* y *pos* con el test PSVT:R, comprobando las ganancias obtenidas después del entrenamiento en HE.

Los estudiantes con pobre HE inicial obtuvieron beneficios superiores a aquellos que no habían participado en el curso de entrenamiento. Además los que participaron en el curso de formación (especialmente las mujeres), permanecieron en la universidad en un porcentaje superior que aquellos que no habían participado en el entrenamiento.

Aunque hombres y mujeres obtuvieron ganancias estadísticamente significativas en las puntuaciones del test después de la participación en los cursos gráficos, la puntuación promedio en post-test para las mujeres era más baja que la calificación promedio en pre-test de los hombres.

En 2003 publicó junto a Wysocki el libro *Introduction to 3D Spatial Visualization*, que contiene 523 ejercicios, además de un CD con módulos multimedia que complementan los ejercicios del libro (Sorby y Wysocki, 2003) (Fig. 30).

Los temas del libro son muy similares al anterior

- Dibujos isométricos y planos codificados
- Dibujos ortográficos
- Desarrollos
- Rotación de objetos sobre un eje
- Rotación de objetos sobre dos o más ejes
- Reflexión de objetos y simetría
- Cortes por planos
- Superficies y sólidos de revolución
- Boleanas (combinación de sólidos)

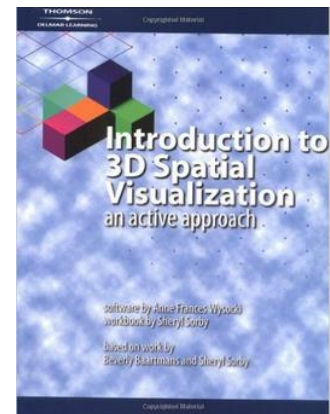


Fig. 30 Portada libro Sorby & Wysocki, 2003

En la Fig. 30 se han representado algunos ejercicios del libro de Sorby y Wysocki (2003).

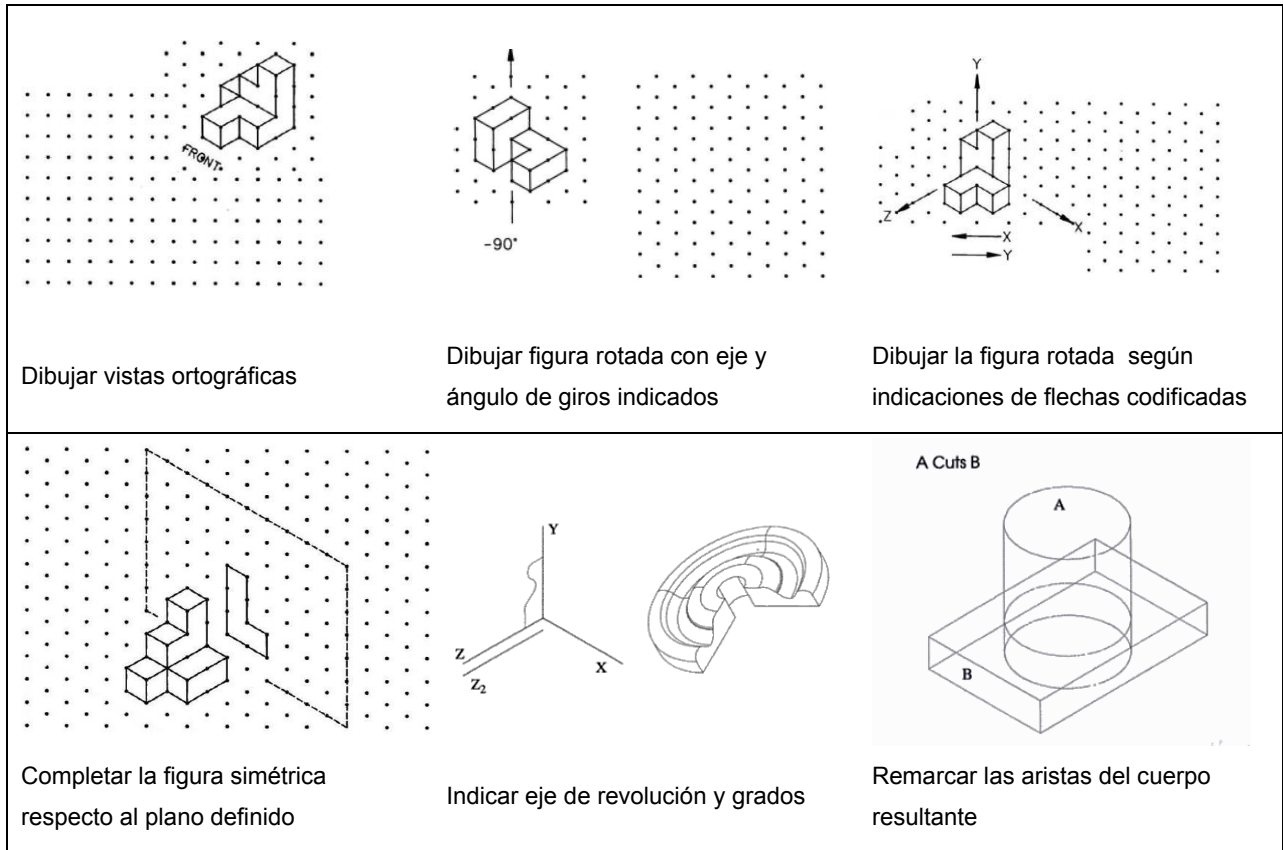


Fig. 31 Ejemplos de ejercicios del libro de Sorby & Wysocki, 2003

Hsi y otros (1997) *Curso Introductorio de Ingeniería Gráfica*. University of California at Berkeley

Impartieron un curso a estudiantes de primer curso de ingeniería que habían obtenido bajas puntuaciones en la prueba de habilidad espacial *Cube Counting*. Incluía diferentes tipos de ejercicios de papel y lápiz y aplicaciones informáticas para construcción de bloques y visualización de objetos.

Mejoraron las diferencias de género y redujo la proporción habitual de alumnos que fracasaban durante el curso.

Pérez Carrión, T.; Serrano Cardona (1998) *“Ejercicios para el desarrollo de la percepción espacial”*. Universidad de Alicante.

Desarrollaron un material muy interesante para potenciar la visión espacial de los alumnos de escuelas técnicas (Fig. 32). El libro consta también de un solucionario que permite la autoevaluación del alumno. Esta tipología de ejercicios ha sido aplicada en numerosas investigaciones, incluso en versiones web. Por ejemplo: (Martin-D. y otros, 2008; Melgosa y otros, 2013).

Previamente a la publicación del libro, los autores estudiaron la influencia de los indicadores visuales en la percepción espacial (Pérez y Serrano, 1995), elaboraron el material y lo sometieron a análisis experimental (Serrano y Pérez 1997). La investigación se hizo con alumnos de primer curso de Ingeniería Técnica de Obras Públicas. Resolvieron estos ejercicios durante las clases semanales, en sesiones de 30 a 60 minutos, durante un periodo de tres meses. Comprobaron ganancias significativas después de realizar el curso.

Seleccionaron una colección de ejercicios y los clasificaron en 5 niveles, por grado de dificultad, para conseguir que las células de la corteza visual maduraran gradualmente (Fig. 32):

- Identificación o reconocimiento (identificación de superficies en vistas y en perspectivas)
- Comprensión (discriminación de vistas y volúmenes)
- Aplicación (discriminación de volúmenes y volúmenes rotados)
- Análisis (recuento de volúmenes que están en contacto y obtención de vistas)
- Síntesis (obtención de perspectivas a partir de las vistas)
- Evaluación (determinación de la tercera vista)


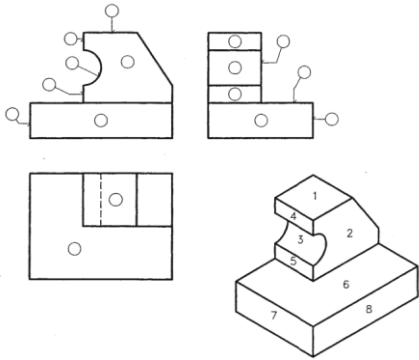
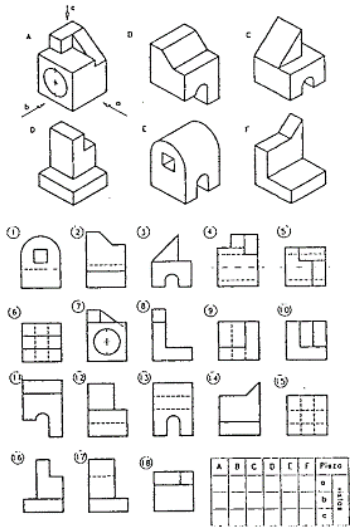
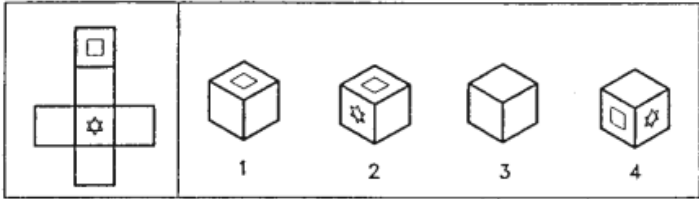
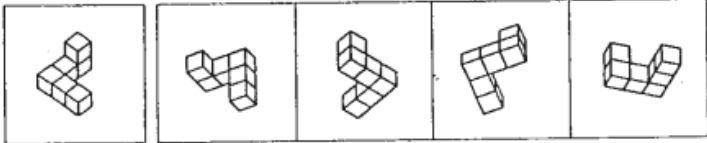
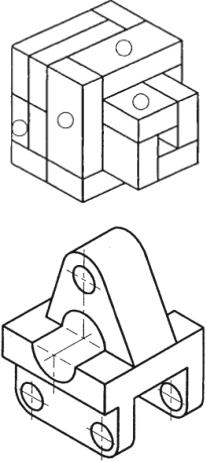
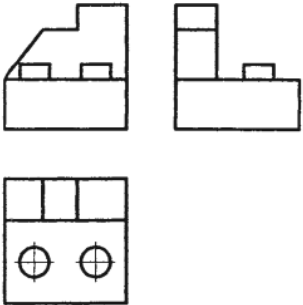
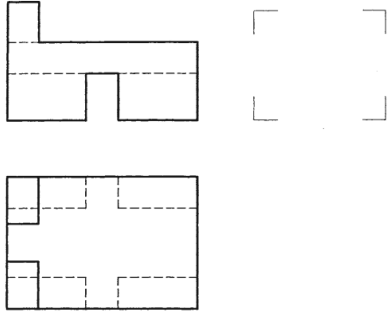
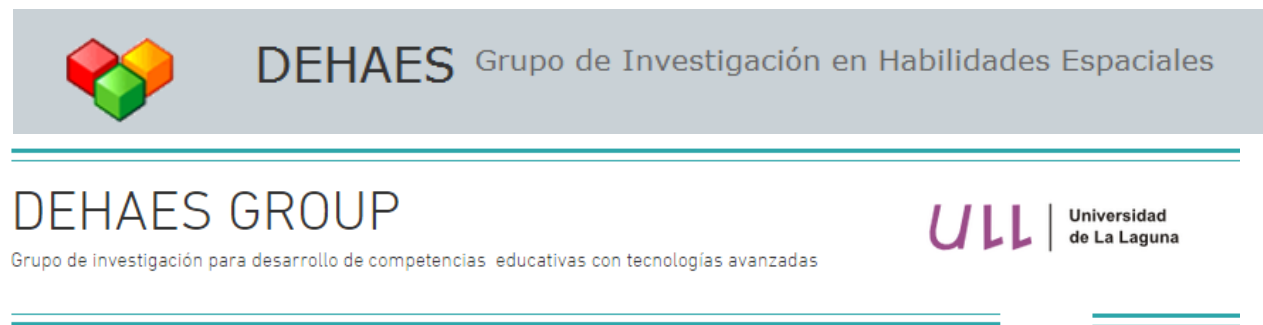
  <p>Portada de libro. Identificación de superficies</p>	 <p>Comprensión</p>
  <p>Aplicación</p>	 <p>Análisis. Recuento de volúmenes en contacto y obtención de vistas.</p>
 <p>Síntesis. Obtención de perspectiva</p>	 <p>Evaluación. Discriminación de la tercera vista.</p>

Fig. 32 Portada y ejemplos de ejercicios del libro de Pérez y Serrano, 1998

DEHAES (<http://dehaesgroup.wix.com/educacion>). Universidad de la Laguna y Universidad Politécnica de Valencia



En enero de 2010 se creó de manera oficial en la Universidad de La Laguna el Grupo de Investigación DEHAES cuyo objetivo inicial era la investigación sobre habilidades espaciales. A lo largo de estos años han desarrollado herramientas y estrategias basadas en tecnologías avanzadas (Realidad Aumentadas, Dispositivos móviles, Gamificación, Impresoras 3D,...) para la mejora de estas habilidades. DEHAES está formado por investigadores de la Universidad de La Laguna y de la Universidad Politécnica de Valencia.

Desde el año 2012 el grupo ha ampliado su ámbito de actuación a otras competencias educacionales relacionadas con la habilidad espacial (Creatividad, trabajo en grupo, manejo de objetos 3D, tecnologías en educación...)

A pesar de que en este capítulo se han clasificado las investigaciones por tipología de estrategia utilizada para desarrollar las habilidades espaciales, se ha optado por incluir aquí todas las investigaciones realizadas por DEHAES, por orden cronológico. El grupo de investigación ha empleado todo tipo de cursos y herramientas, lo que les ha permitido comparar resultados. Se resumen a continuación sus investigaciones.

Saorín y otros (2005) *Efecto de los programas de las asignaturas de Expresión Gráfica en el desarrollo de la visión y habilidades espaciales de los alumnos de las carreras técnicas en la Universidad de la Laguna.*

Recogieron datos en tres carreras diferentes. Midieron las HE antes y después de cursar la asignatura (DAT-SR y MRT). Los autores extraen las siguientes conclusiones:

- *“Las asignaturas mejoran significativamente las habilidades espaciales, demostrando con ello que el estudio de la expresión gráfica es útil para los futuros ingenieros no sólo por su contenido teórico práctico sino por la ayuda que representa para mejorar o desarrollar estas habilidades”.*

- *“Ninguna de ellas ha logrado mejores resultados que las otras por lo que podemos deducir que pequeñas diferencias en los programas no generan apenas diferencias en las habilidades espaciales de los alumnos.”*
- *“Las mujeres, como media, tienen peores valores iniciales que los hombres, tendiendo a igualarse después de un periodo de formación (Esto es especialmente válido para los valores de DAT, mientras que con MRT se sigue observando una gran diferencia de género)”*

Saorín Pérez (2006); Martín-D. y otros (2008); Martín-G y otros (2009), Martín-D. (2009),. *Comparación de diferentes metodologías para desarrollar las Habilidades Espaciales.* Universidad de la Laguna y Universidad Politécnica de Valencia.

Los autores explican y comparan el efecto de varias metodologías que han ido desarrollando y aplicando para mejorar las habilidades espaciales (material en papel, páginas web, aplicaciones multimedia, realidad aumentada, aplicaciones de geometría descriptiva, aplicaciones en dispositivos móviles, aplicaciones basadas en bocetado por ordenador y reconocimiento de objetos...)

Impartieron cursos intensivos de corta duración a comienzos de curso con las diferentes metodologías. Realizaron un estudio riguroso sobre la mejora en cada uno de estos cursos y analizaron el grado de satisfacción de los alumnos.

“El análisis estadístico de los resultados muestra que todos los cursos o estrategias son perfectamente válidas para mejorar la capacidad espacial en los estudiantes, si bien es cierto que algunas proporcionan conocimientos en sistemas de representación gráfica. Entra en juego la preferencia de los estudiantes para entrenar en un tipo de curso u otro, inclinándose más por aquellos que les permite la formación autónoma y están basados en nuevas tecnologías, dispositivos electrónicos, internet...” *“Los estudiantes de ingeniería valoran positivamente la iniciativa de realizar este tipo de entrenamiento, porque los consideran útiles de cara a las asignaturas que van a cursar, interesantes por mejorar la visión espacial y estimulante por la motivación, competición en algunos casos y lo atractiva de la tecnología utilizada.”* (Martín Gutiérrez 2010)

Contenidos de Sistema Diédrico

Diseñaron un curso de corta duración con contenidos básicos de sistema diédrico. El curso se impartió en dos versiones:

1. Basado en clases magistrales con explicaciones en pizarra
2. Clases magistrales y con apoyo de una aplicación; un visualizador tridimensional para que el alumno pudiera ver, desde cualquier punto de vista, el objeto representado (Fig. 33).

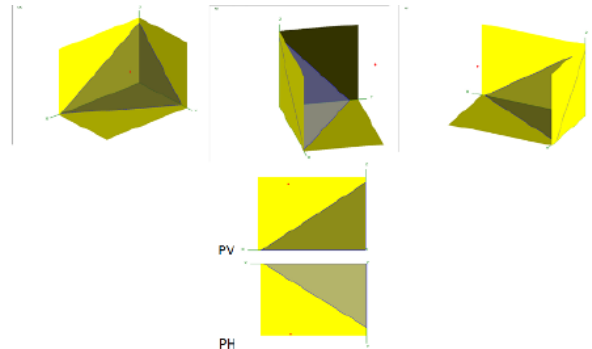


Fig. 33. Visualizador tridimensional Diédrico. Fuente Martín et al. 2008

Cursos croquizados en papel y lápiz:

Martín Gutiérrez (2010) recopiló los ejercicios empleados en asignaturas de expresión gráfica en titulaciones técnicas que tuvieran relación con el desarrollo de las habilidades espaciales y aportó nuevas ideas (Fig. 34). Muchos de los ejercicios recogidos trabajan varias tareas espaciales. Los clasificó en la tipología de ejercicios de Pérez Carrión y Serrano Cardona (1997,1998).

Estructuraron el curso de intensificación en 4 sesiones de 2h c/u, que consistían en:

1. *Familiarización con croquizado.* Es una introducción donde se explica de forma visual el procedimiento para croquizar y obtener las vistas de una pieza y se realizan ejercicios de identificación de superficies en una perspectiva, Identificación de superficies en las vistas, obtención de vistas, obtención de perspectiva a partir de vistas, dibujar líneas discontinuas que faltan
2. *Nivel Básico:* obtención de vistas, obtención de perspectivas, obtener la tercera vista.
3. *Nivel Intermedio:* obtención de vistas, obtención de perspectivas, obtener la vista que falta, obtener vistas mínimas.
4. *Nivel Avanzado:* obtención de vistas, obtención de perspectivas, obtener vistas previa rotación mental del objeto, relacionar vistas con perspectivas.

Reconocimiento

Identificación de superficies en vistas

Identificación de superficies en perspectiva

Comprensión

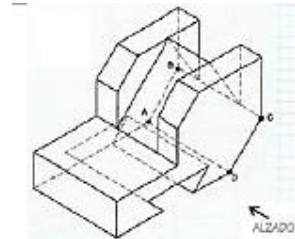
Cambio de plano de apoyo. Dada una pieza en perspectiva, hacer que una de sus caras sea el plano de apoyo y dibujar las vistas (figura)

Cambio de plano de apoyo II. Dada una pieza en perspectiva, hacer que una de sus caras sea el plano de apoyo e identificar las nuevas vistas

Múltiples perspectivas. Dadas dos vistas, elegir las perspectivas posibles

Dibujar las líneas discontinuas que faltan I. Conocida la perspectiva

Dibujar las líneas discontinuas que faltan II. No se conoce la perspectiva



Aplicación

Identificar la sección que produce un plano dadas las vistas

Identificar la perspectiva correspondiente a la representación (vistas y sección)

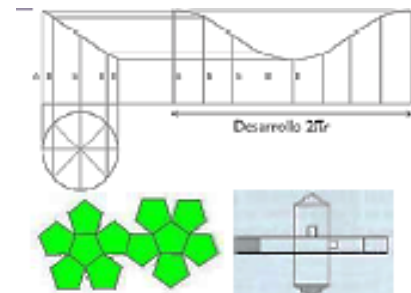
Dibujar la sección que produce un plano

Identificar la intersección entre dos cuerpos

Desarrollos de volúmenes prismáticos

Rotación. Identificar el objeto después de rotarlo un ángulo determinado.

Rotación. Representar las vistas del objeto después de rotarlo un ángulo determinado



Análisis

Discriminación de vistas. Dada la perspectiva, elegir entre varias vistas las tres correspondientes (figura)

Obtener las vistas mínimas de una pieza en perspectiva

Descubrir la vista incorrecta. Dadas varias vistas de una pieza en perspectiva, identificar la errónea.

Reconocimiento de pieza. Dadas varias piezas, identificar a cual corresponden las vistas dadas.



Síntesis

Obtención de las vistas de una pieza

Obtención de la perspectiva a partir de las vistas

Evaluación

Obtener la tercera vista

Calcular el número de líneas discontinuas que faltan

Búsqueda de errores

Fig. 34 Clasificación realizada por Martín G. 2010 (siguiendo el criterio de Pérez y Serrano, 1998) de ejercicios recopilados o propuestos por él para desarrollar las HE.

Plataformas multimedia-Web

En 2007/2008 realizaron un estudio piloto con estudiantes de Ingeniería Técnica de Obras Públicas. Desarrollan un programa formativo con el objetivo de desarrollar las HE. A los alumnos con peores resultados en el test inicial se les impartió un curso de entrenamiento con la aplicación web interactiva “*Building with Blocks*”, que se organizó en dos sesiones de tres horas, desarrolladas en dos semanas. Se utilizaron los ejercicios del Instituto Freudenthal de Educación en Ciencia y Matemáticas de la Universidad de Utrecht, disponibles en su web (<http://www.fi.uu.nl/wisweb/en/welcome.html>) y elaborados en lenguaje JAVA (Fig. 35). Para el entrenamiento fueron empaquetados en formato html y, con el objetivo de que no afectara a los resultados, no se informó a los estudiantes de su disponibilidad en internet.

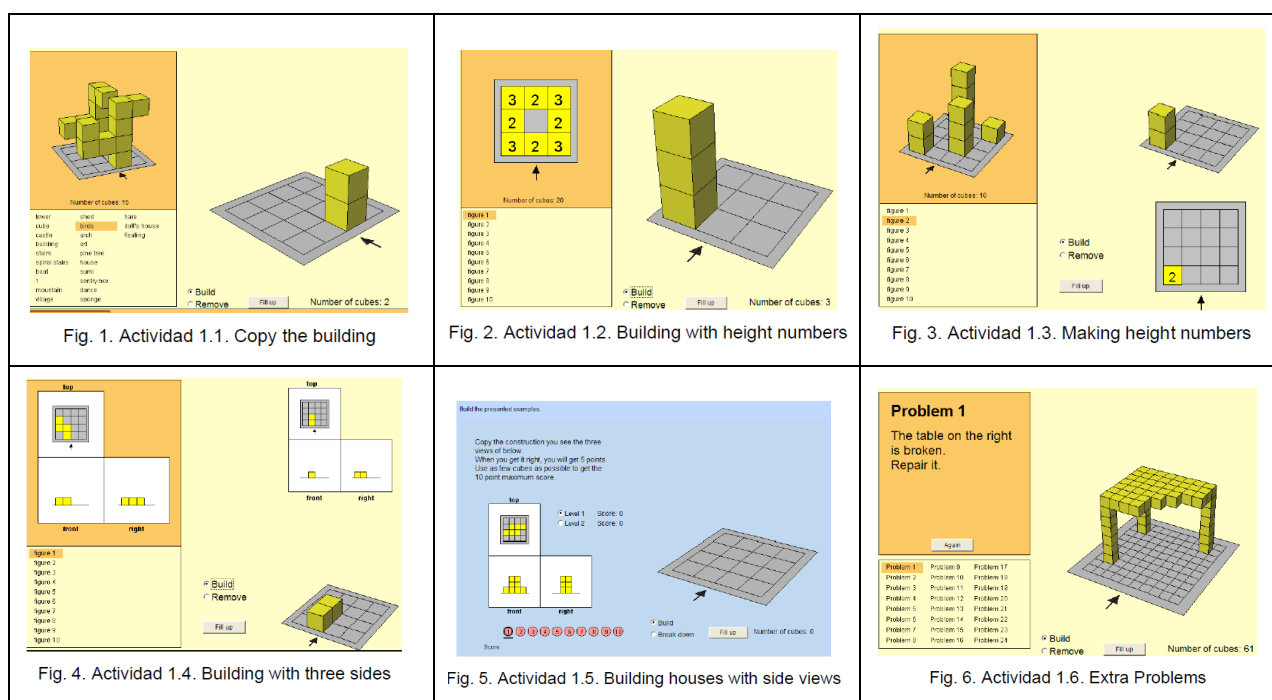


Fig. 35. Actividades propuestas. Fuente: Martín y otros. 2008

Posteriormente, los autores recopilaron varias webs dedicadas al desarrollo de la habilidad espacial (Martín-G., Martín-D., Saorín, Contero y Navarro, 2008). A partir de su experiencia, DEHAES desarrolló una plataforma seleccionando “la tipología de ejercicios mejor aceptados por los alumnos y que inducen a mejorar en mayor medida las capacidades espaciales”.

Interfaces caligráficas

Se croquizaban perspectivas de piezas en ordenadores personales tipo Tablet-PC. (Fig. 36). Emplearon la aplicación educativa *eCIGRO*, desarrollada por el grupo de investigación REGEO de la Universidad Politécnica de Valencia y Universidad Jaume I. Reconocía los elementos croquizados y los convertía en superficies y modelos tridimensionales, de forma que podía proporcionar las vistas normalizadas del objeto croquizado.



Fig. 36 Croquis en interfaz caligráfica.
Fuente: Martín et al. 2009

Videojuegos

Existen en el mercado numerosos juegos en los que la escena discurre en un entorno espacial (casa, calle, ciudad...) donde tiene que ubicarse el usuario. Pero hay juegos más relacionados con las habilidades espaciales, como el juego TETRIS. Los investigadores del grupo DEHAES realizaron dos cursos paralelos empleando el juego Tetris; uno con PC y el otro con videoconsola Nintendo DS (Fig. 37).

Desarrollaron un entrenamiento de 8 horas. El objetivo no era adquirir conocimientos de representación, pero sí desarrollar las habilidades espaciales mediante las operaciones de rotación-traslación. En cada sesión se realizaban actividades diferentes para que fuera más atractivo y menos rutinario.

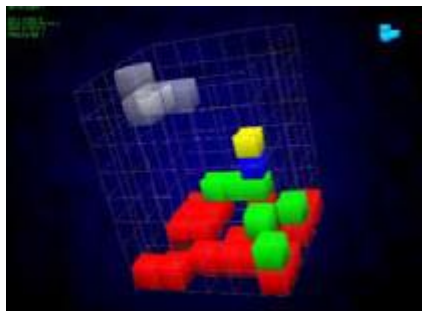


Fig. 37 Juego Tetris para PC y Nintendo DS. Fuente: Martín 2010

Software CAD



Google SketchUp es un programa muy intuitivo. Se diseñó un curso intensivo de 12 horas de duración, con el objetivo de mejorar las habilidades espaciales y familiarizar al alumno con el modelado 3D.

Realidad Aumentada

“La Realidad aumentada (RA) es una nueva rama de interfaces donde los elementos reales conviven con los elementos virtuales, que sirven para aportar información adicional a los primeros. Es una tecnología totalmente innovadora, ligada a la Realidad Virtual (RV), aunque diferente en varios aspectos, ya que la Realidad Virtual es inmersiva; esto es, el usuario no puede ver el mundo real a su alrededor.

En contraste con la RV, la RA completa la visión real del usuario, no la reemplaza por otra. Se define un sistema de Realidad Aumentada como aquél con las siguientes propiedades:

- *Combina objetos reales y virtuales*
- *Es interactivo y en tiempo real*
- *Se alinean los objetos virtuales y reales unos con otros.”*

Desarrollaron un manual de entrenamiento con distintas tipologías de ejercicios. Consiste en manipular piezas virtuales para poder visualizarlas desde cualquier punto de vista. Los alumnos deben coordinar los movimientos de las manos con las rotaciones mentales (Fig. 38). En un cuaderno de ejercicios deben resolver cuestiones referentes al objeto (vistas, localización de vértices, aristas, caras...).



Fig. 38 Realidad Aumentada en resolución de ejercicios. Fuente: Martín, 2010

Dispositivos móviles

Está demostrada la eficacia de estos dispositivos como herramienta para mejorar el aprendizaje en muchos ámbitos educativos. A partir de los resultados obtenidos en los cursos anteriormente mencionados, diseñaron nuevos materiales sobre dispositivos móviles de pantalla táctil; un medio muy atractivo para los alumnos. Desarrollaron dos tipologías de materiales:



1. Un entorno web interactivo en formato plano (2D), optimizado para dispositivos tipo iPod Touch. Realizaron un curso online programado para cinco días con este material. Comprobaron su efectividad en la mejora de las HE y los estudiantes lo valoraron con un alto grado de satisfacción. Ejercicios de modelos de cubos, de identificación de caras y vistas, de discriminación de volúmenes, de rotaciones y de secciones, basados la mayoría en ejercicios de Sorby, Wysocky, y Baartmans (2003) y The Freudenthal Institute for Science and Mathematics Education (2004) (Fig. 39).

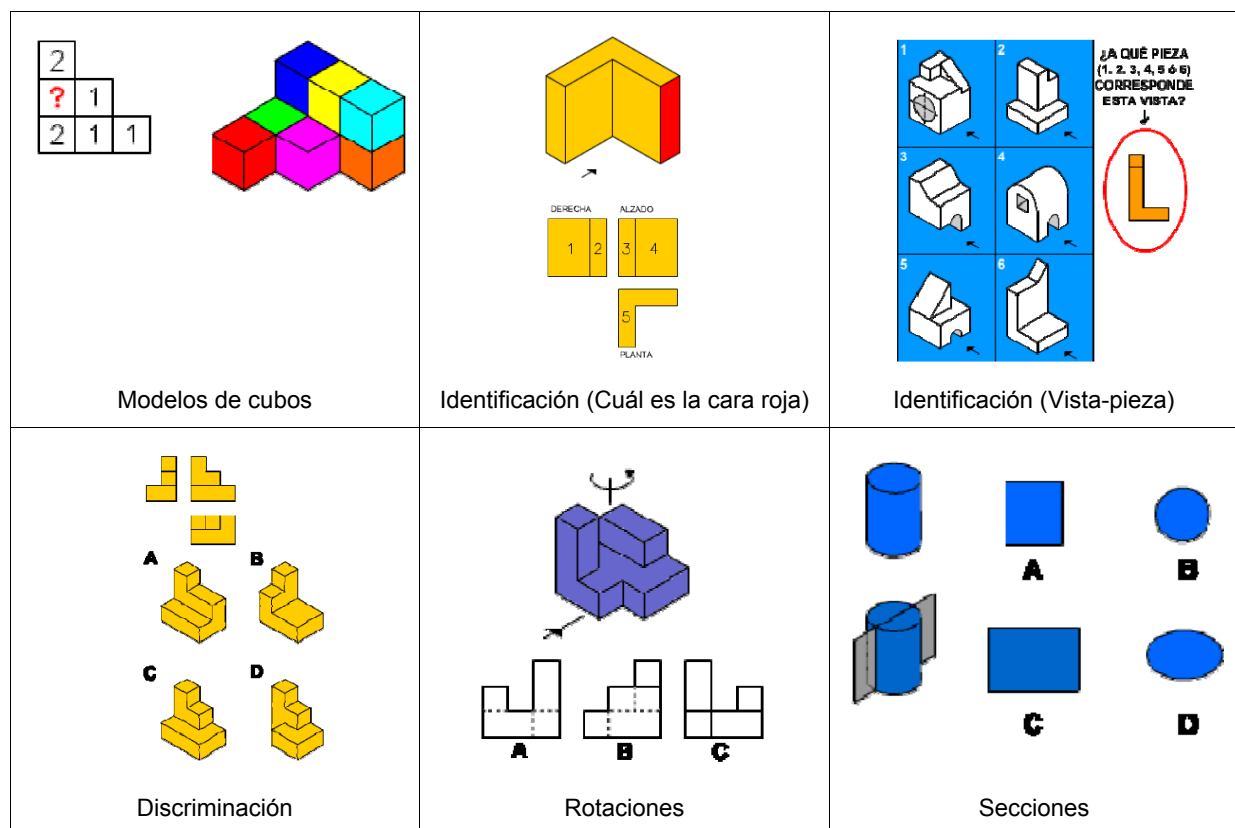


Fig. 39. Ejemplos de ejercicios aplicados a móviles. Fuente: Martín D. 2009

2. Una aplicación para móviles de pantalla táctil que permite construir modelos de cubos en un entorno 3D: *“Building with Blocks”*.

MANIPULACIÓN DE MODELOS FÍSICOS Y VIRTUALES

Pérez Carrión y otros (2006). *Las maquetas como material didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la lectura de interpretación de planos de ingeniería*. Universidad de Alicante

La experiencia la realizaron con alumnos de Ingeniería Técnica de Obras Públicas dentro de la unidad de Interpretación de Planos. Uno de los objetivos era aumentar la visión espacial al pasar de la representación plana en dos dimensiones a la representación espacial tridimensional (Fig. 40). *“Al realizar una maqueta, el alumno se ve obligado a interpretar los planos que la representan. Después de la lectura de las vistas del elemento constructivo en cuestión, deben elaborar mentalmente una representación tridimensional del objeto con el fin de transformar los materiales de que dispone en una maqueta a escala que coincida con el objeto representado. Todo este proceso, incrementa la percepción espacial de los alumnos de una manera notable dado que obliga al alumno a aportar datos que no existen directamente en los planos, como son los indicadores de la tercera dimensión.”*

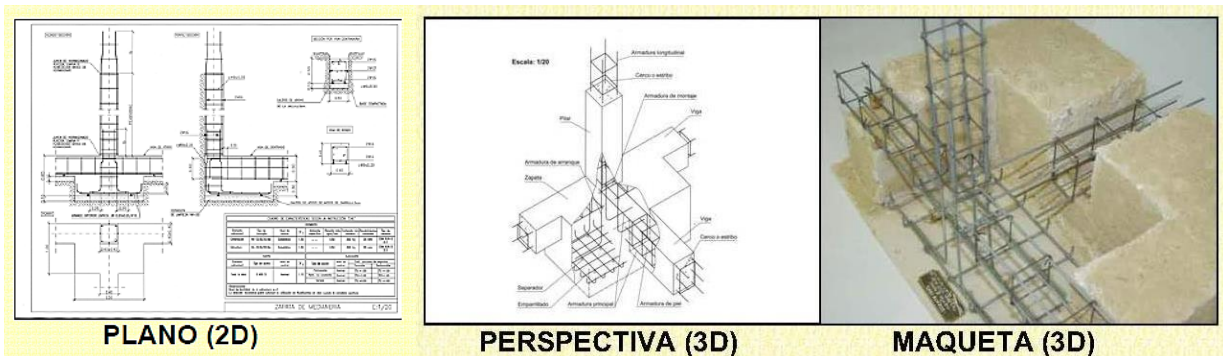


Fig. 40. Esquema de proceso. Fuente: Pérez et al. 2006

Sierra, Garmendia, Barrenetxea y Solaberrieta (2009) *Metodología para la resolución de problemas de visualización (Lectura, interpretación y creación de planos industriales)*. Euskal Herriko Unibersitatea

Consideran, como muchos autores, que para trabajar la capacidad espacial es necesario manipular modelos, girar, mover y realizar ejercicios mentales con ellos; hacer la experiencia lo más realista posible. Por ello emplean modelos físicos reales, de cartón y en su mayoría prototipados en el Laboratorio de Diseño de Producto del departamento de Expresión Gráfica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Bilbao (Fig. 41).

(<http://www.ehu.es/PDL/english/prototipado.html>)



Fig. 41. Ejemplos de modelos físicos prototipados. Fuente: Sierra et al. 2009

Cohen y Hegarty (2014) comprobaron que la manipulación activa de objetos reporta ganancias en la formación de la visualización espacial. Los modelos virtuales también pueden representar estructuras tridimensionales cuando los modelos físicos son imposibles o poco prácticos de usar. La manipulación de modelos virtuales puede aumentar la codificación de las características espaciales de los estímulos (Wright y otros, 2008). Manipular modelos físicos de las figuras también puede mejorar el rendimiento, dada la evidencia de los sustratos neuronales compartidos de sistemas hápticos y visuales de codificación de estructuras tridimensionales.

Experimentaron con una animación interactiva con modelos virtuales que integraba dibujo y feedback, para entrenar la identificación de secciones transversales de objetos tridimensionales. Los ejercicios eran algunos de los ítems del test SBT, creado por los autores.

Se mostraba una figura geométrica simple atravesada por un plano y se pedía dibujar la sección transversal. Los participantes comprobaban la exactitud de sus dibujos visualizando un corte interactivo. La instrucción tuvo una duración de 12 minutos aproximadamente. Demostraron mejoras de rendimiento significativas, entre pre-test y pos-test (superiores al grupo de control) en ítems entrenados y en ítems del test no entrenados, proporcionando fuerte evidencia de transferencia.

Sorby y Baartmans (1996) tuvieron éxito en el entrenamiento de la visualización espacial en un semestre con la incorporación de *objetos geométricos virtuales que se podían seccionar y girar*. La visualización y manipulación de modelos virtuales es particularmente beneficiosa para el aprendizaje de la configuración espacial de objetos complejos. Incluso en otros ámbitos de conocimiento. Por ejemplo Chariker y otros (2011) compararon dos metodologías de aprendizaje de secciones del cerebro en anatomía. Los participantes que aprendieron primero con un modelo en tres dimensiones superaron a los participantes que aprendieron sólo de secciones en 2D. Según los autores, la representación en 3D del cerebro ayudó a organizar la ubicación de las secciones anatómicas bidimensionales. Höffler (2010) realizó un meta-análisis que reveló que los individuos con pocas habilidades espaciales se beneficiaban más que los que tienen más habilidades de interactuar con modelos en 3D en lugar de imágenes 2D.

Sorby (2009) Comparó las ganancias en diversos test de HE después de cursar diferentes tipos de cursos. Las ganancias fueron muy similares, excepto en la prueba de corte mental MCT, donde mejoraron más los alumnos que habían participado en un curso con software multimedia (los otros habían empleado metodología tradicional). Quizás el corte por planos se puede ilustrar mejor con software multimedia.

Las animaciones combinan imágenes estáticas con visualizaciones dinámicas. Son muy adecuadas para simular los procesos cognitivos dinámicos que se producen en el funcionamiento de memoria de trabajo visual espacial durante transformaciones espaciales. Las interfaces interactivas que permiten a los usuarios pausar, rebobinar y reiniciar pueden abordar algunos de los desafíos planteados por la fugacidad de la animación. Otra ventaja de animación interactiva es que permite integrar actividades de aprendizaje complementarias y de feedback en la instrucción (Cohen y Hegarty, 2014).

APLICACIONES

Flórez Pérez y otros (2001) *Sistema de apoyo al desarrollo de la percepción espacial basado en VRML*. Universidad de Oviedo

Crearon un sistema interactivo con el fin de facilitar el desarrollo de la percepción espacial, ejercitando las capacidades necesarias para la resolución de los siguientes problemas: dibujar las vistas normalizadas a partir de una perspectiva y dibujar la perspectiva a partir de las vistas normalizadas. El sistema utilizaba modelos tridimensionales de las piezas, que se integraban en un servidor web (<http://www.ingedix.com>). El usuario seguía un plan secuencial de ejercicios en los que podía visualizar interactivamente los modelos. Se estructuraban tres perfiles de usuario: Inicial, Medio y Avanzado. Se creó un foro de usuarios para poder mejorar continuamente el sistema, recogiendo las sugerencias, corrigiendo posibles errores., etc.

Kinsey, 2003; Towle y otros, 2005; Onyancha y otros, 2007; Kinsey y otros, 2009. *Desarrollo y evaluación de dos herramientas: PMR y AVS de aplicación con Software de CAD.* University of New Hampshire Mechanical Engineering

Las dos herramientas se diseñaron para potenciar las Habilidades espaciales (Fig. 42):

- *Physical Model Rotator (PMR)*, hace girar un modelo físico de un objeto en movimiento sincronizado con un modelo del mismo objeto en el software CAD.
- *Alternative View Screen (AVS)*, proporciona al usuario de software de CAD un modelo sólido (incluyendo sombreado) y una vista en dibujo de línea del objeto.

Realizaron un curso de entrenamiento para estudiantes que habían obtenido bajas puntuaciones en PSVT:R (<60%). El curso tuvo una duración de 4 semanas, 1 hora por semana (2h / cada herramienta). Compararon resultados con un grupo de control. Comprobaron que las herramientas habían aumentado las HE. Aunque no fueron estadísticamente significativos ni las mejorías obtenidas ni las diferencias entre el grupo de control y el grupo experimental, posiblemente porque el grupo era muy reducido.

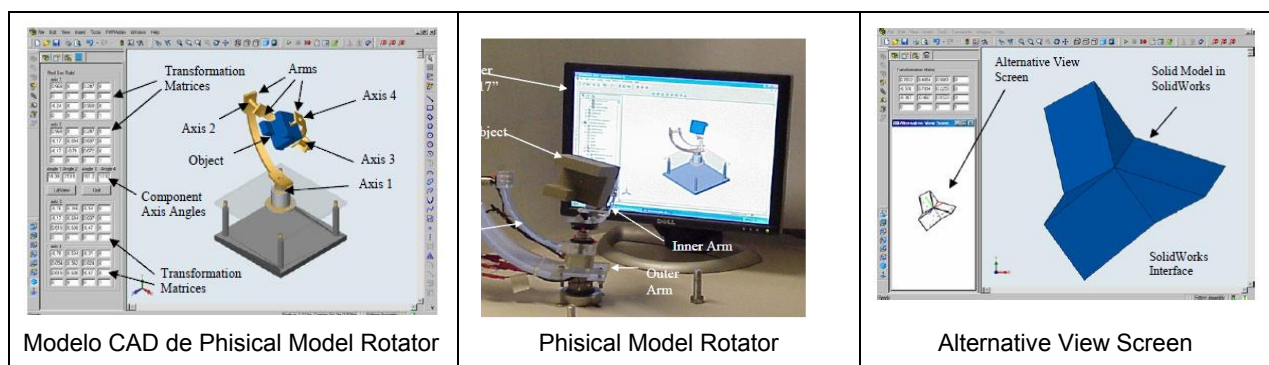


Fig. 42. Physical Model Rotator y Alternative View Screen. Fuente: Towle et al. 2005

Garmendia, Gisasola, y Gorozika (2004) *Enseñanza de la visualización de piezas como resolución de problemas*. Euskal Herriko Unibersitatea

Propusieron un modelo de resolución de problemas de visualización, tras una revisión bibliográfica y el análisis del proceso de razonamiento seguido por un grupo de profesores al visualizar objetos. Se basaron en una enseñanza de orientación constructivista: resolución de problemas, como forma de integrar la teoría y los procedimientos o habilidades de resolución, en un proceso único de construcción de conocimiento. Consideraban que era fundamental trabajar interactivamente con el alumno.

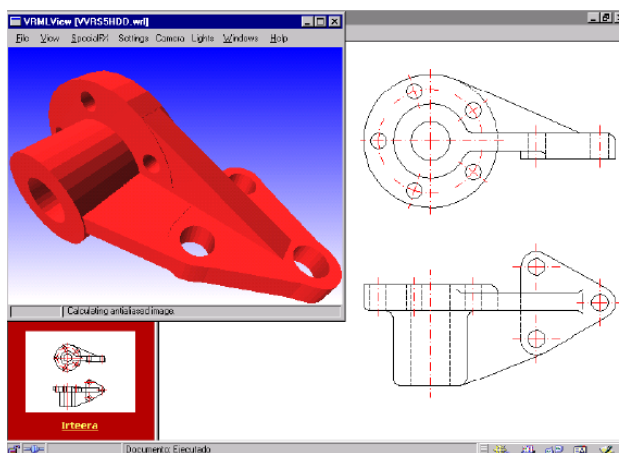


Fig. 43. Ejemplo de interacción virtual mediante VRML.
Fuente: Garmendia et al. 2004.

Diseñaron e integraron en el programa de actividades un sistema multimedia que ofrecía la posibilidad de interactuar con las piezas en formato VRML (Fig. 43).

Compararon la metodología (grupo experimental) con la docencia tradicional (grupo de control). Se pasó al final de curso a los estudiantes un cuestionario de dos problemas de visualización (no especifica cuáles). El grupo experimental obtuvo un porcentaje de aciertos muy superior al grupo de control. Además observaron una mejora cualitativa en los razonamientos realizados por los alumnos del grupo experimental durante el proceso de resolución de los problemas de visualización

Rafi y otros (2005) *Entorno virtual basado en la web*. Universiti Pendidikan Sultan Idris. Malasia.

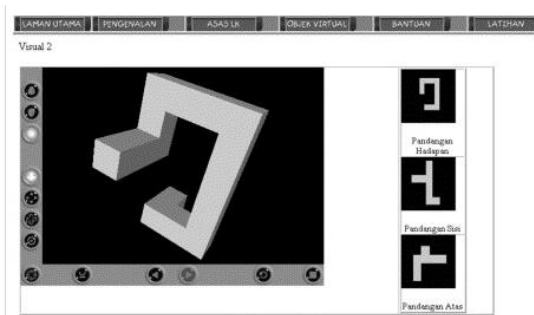


Fig. 44 Objeto VMRL y sus vistas correspondientes. Fuente: Rafi et al. 2005

Estudiaron la mejora de las HE empleando un entorno virtual *Web-based Virtual Environment (WbVE)* (Fig. 44) y lo compararon con un grupo de docencia convencional. Los cursos constaban de módulos de rotación mental y de visualización. La duración fue de 5 semanas, 2 h/semana.

Comprobaron que la herramienta era más efectiva

que la docencia tradicional (en papel).

Rafi y otros (2006) *Aplicación de diferentes metodologías aplicadas a ejercicios de dibujos de ingeniería*. Universiti Pendidikan Sultan Idris. Malasia.

Investigaron la eficacia de la instrucción de la asignatura Dibujo de Ingeniería en la mejora de la capacidad espacial (en visualización espacial y rotación mental). En un curso de 5 semanas, 2h/semana de ejercicios de dibujo de ingeniería, emplearon tres metodologías diferentes en tres grupos de alumnos:

- Uno con ordenador, con una aplicación descargada de *Visualization Assessment and Training Project (VIZ): Interactive Engineering Drawing Trainer (EDwgT)* (Fig. 45).
- Otro con enseñanza convencional empleando materiales impresos mejorados con videoclips digitales.
- Otro grupo de control con instrucción convencional mediante materiales impresos.

No encontraron diferencias significativas entre los grupos. Los tres grupos consiguieron mejoras estadísticamente significativas en las tareas de visualización espacial. Mejoró también la precisión en rotación mental, pero no la velocidad. Una explicación plausible es que el entrenamiento mediante actividades de dibujo de Ingeniería utiliza contenidos de aprendizaje y estrategias de presentación que no afectan a las operaciones mentales asociados con la capacidad de velocidad de rotación mental.

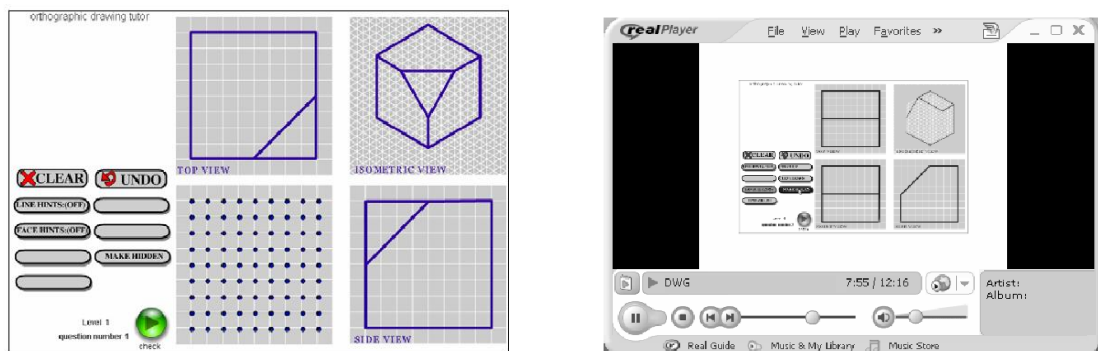


Fig. 45. Izda: EDwgT. Dcha: ejemplo de videoclip. Fuente: Rafi y otros, 2006

Rafi y Samsudin (2009) *Herramienta de entrenamiento de rotaciones mentales*. Universiti Pendidikan Sultan Idris. Malasia.

Realizaron un curso de entrenamiento de rotaciones mentales de 3 semanas de duración. 2h/semana, con una herramienta interactiva que permitía interactuar con los objetos virtuales y proporcionaba evaluación de respuestas (Fig. 46).

En general, hubo una mejora sustancial en la precisión de la rotación mental. Confirmando su estudio anterior, comprobaron mejoría en precisión de rotación pero no en velocidad.

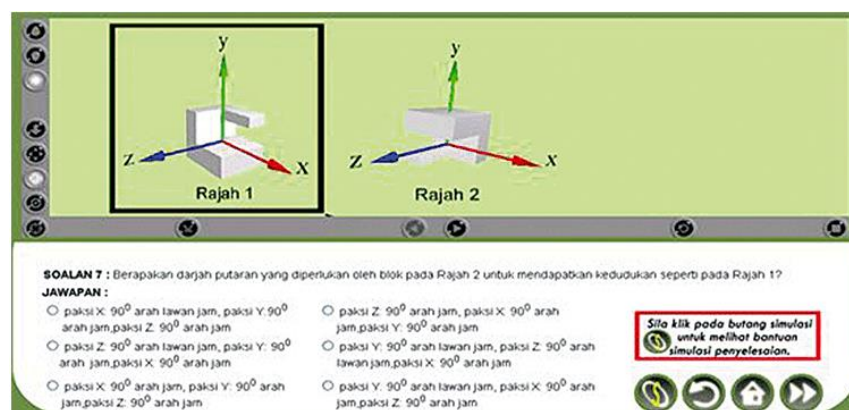


Fig. 46. Página web de un ejercicio de rotación mental. A la izquierda el objeto de comparación y a la derecha el objeto destino. La parte inferior de la página Web contiene las opciones de las soluciones posibles (rotaciones que hay que aplicar). Fuente: Rafi y Samsudin, 2009

Ramos, García, Baños y Melgosa (2003) *Aprendizaje innovador en la visualización de piezas y dispositivos, en la formación de dibujo técnico mediante aplicación hipermedia*. Universidad de Burgos

Elaboraron un material didáctico multimedia interactivo que facilita a los alumnos el aprendizaje de la visualización espacial. Se explican los conceptos de visualización por medio de animaciones, con narración incorporada. Se plantean ejercicios interactivos de dificultad creciente en los distintos niveles de aprendizaje establecidos por los profesores Pérez Carrión y Serrano Cardona (1997, 1998). En cada tipo de ejercicio se resuelve un ejemplo para guiar el aprendizaje. Después de experimentar la aplicación con un grupo de alumnos, corrigieron los distintos errores detectados y lo subieron a la red de la Universidad de Burgos. Este taller virtual permite además una autoevaluación del aprendizaje.

Melgosa, Ramos, Baños, García y Román, 2011; Melgosa y otros, .2013. *Sistema de Gestión de Aprendizaje Interactivo aplicada al desarrollo de las habilidades espaciales*. Universidad de Burgos.

Continuando con la investigación anterior, diseñaron una plataforma abierta y flexible: *“Interactive Learning Manager for Graphic Engineering: Spatial Vision”* (ILMAGE_SV). (Fig. 47)

Utiliza esencialmente la metodología de contenidos del taller sobre visualización que pusieron en marcha en el 2003. Es una herramienta de apoyo al aprendizaje para los estudiantes de expresión gráfica en ingeniería y para los profesores porque permite realizar un seguimiento del aprendizaje de los estudiantes. Este software está diseñado para llenar los vacíos de conocimiento de los estudiantes, dándoles habilidades de visualización espacial más uniformes al matricularse en los grados de ingeniería. Contiene:

- Un sistema de gestión de contenidos
- Una prueba de evaluación de nivel inicial
- Una aplicación para la gestión de ejercicios que incorpora autoevaluación y un visor 3D que funciona como un tutorial interactivo, que permite la manipulación de los sólidos 3D.
- Una base de datos diseñada para tres tipos de usuarios: estudiantes, profesores, y administrador

Los autores comprobaron su eficacia durante dos cursos académicos. Los resultados indicaron que el uso de esta herramienta mejoraba las HE de los estudiantes en general, y especialmente a aquellos que accedieron a ingeniería sin conocimiento previo de Dibujo Técnico.

Se presenta un ejemplo de diferentes tipologías de ejercicios, obtenidos en la web <http://www2.ubu.es/expgraf/expgrain/visualizacion3d/index2.shtml> (Fig. 48).



Fig. 47. Estudiante realizando un ejercicio en ILMAGE-SV. Fuente: Melgosa et al. 2013

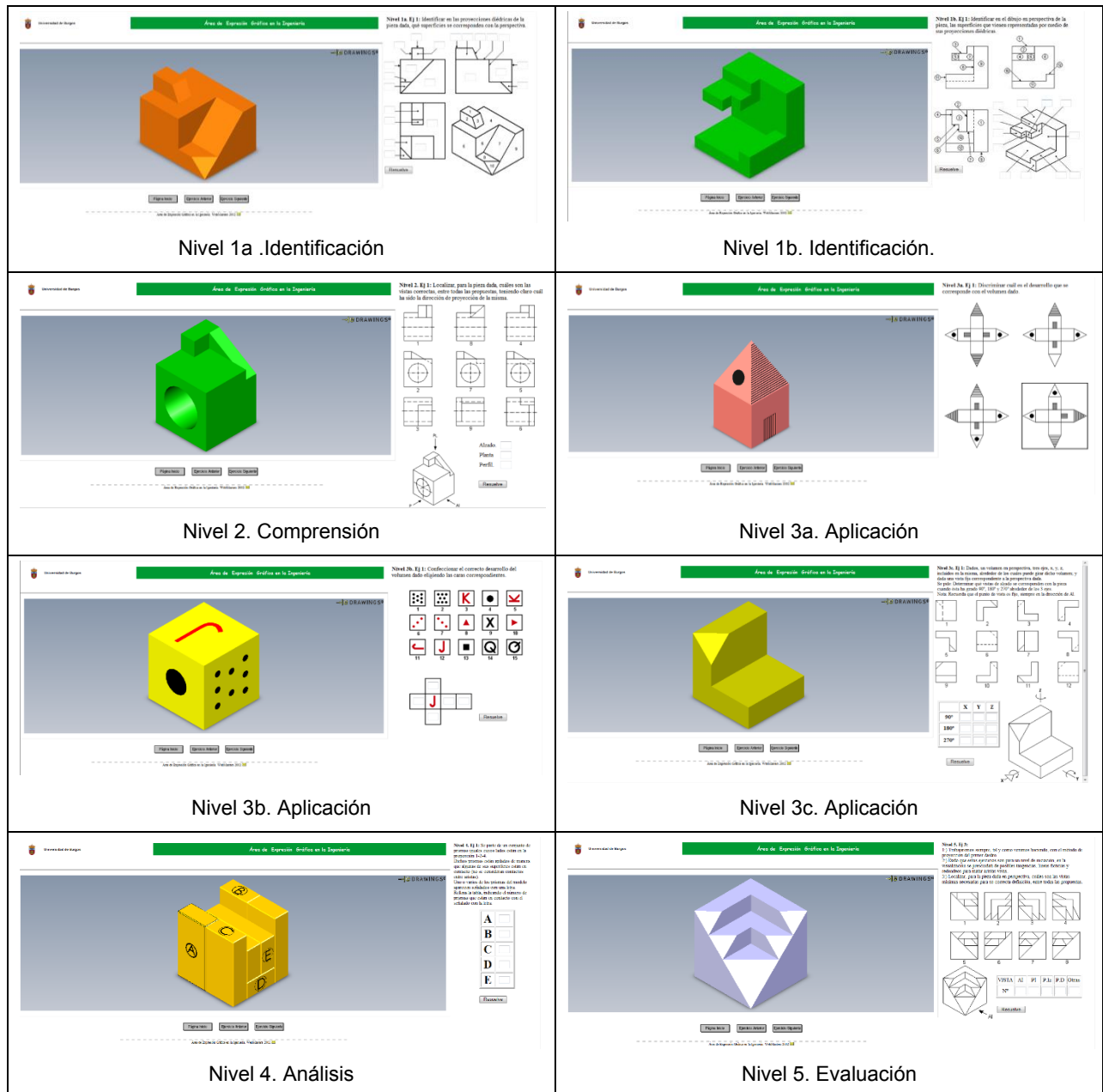


Fig. 48. Diferentes tipos de ejercicios. Fuente: <http://www2.ubu.es/expgraf/expgrain/visualizacion3d/index2.shtml>

Se han mostrado algunas aplicaciones multimedia y páginas web desarrolladas para apoyar los contenidos de las asignaturas de Expresión Gráfica. Hay varias aplicaciones web de libre acceso que se centran, total o parcialmente, en el desarrollo de la habilidad espacial. Algunos autores las han recogido en diferentes artículos (Martín-G. y otros, 2008; Melgosa y otros, 2009, 2011 y 2013). Se presentan a continuación algunos ejemplos de libre acceso actualizados (Fig. 49).

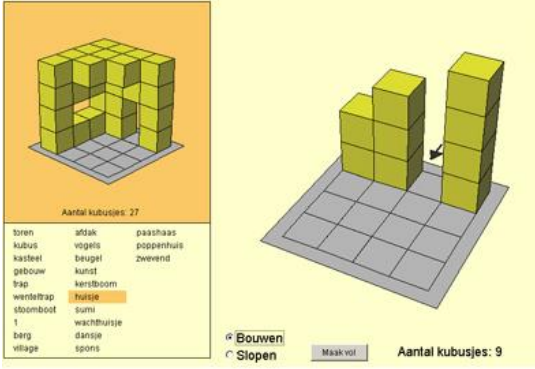
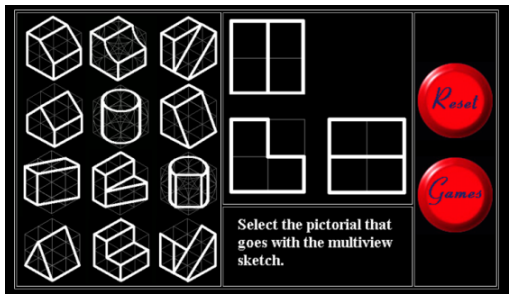
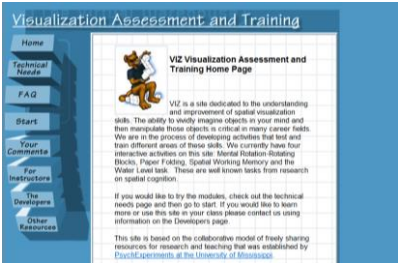
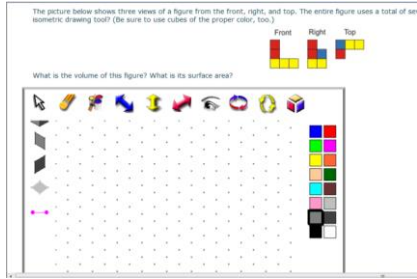


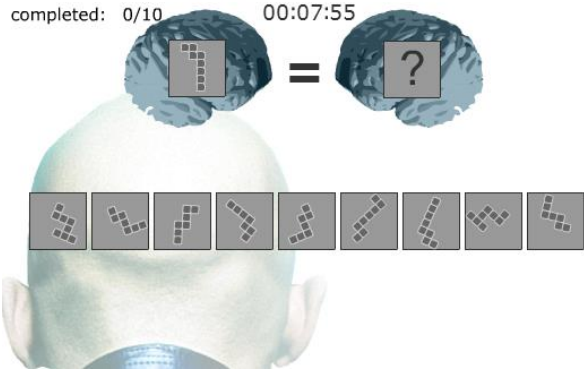
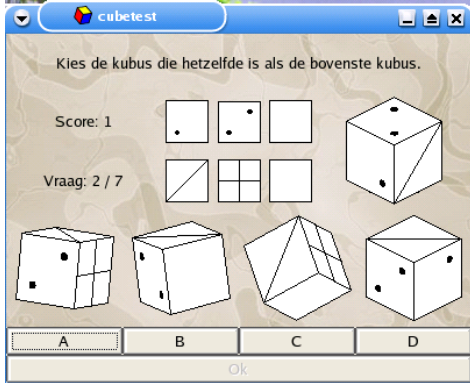
 <p>http://www.uu.nl/onderzoek/freudenthal-instituut/onderwijs/leermiddelen Building with Blocks (Freudenthal Institute for Science and Mathematics Education)</p>	 <p>https://crown.utpa.edu/EG/games/index.html Engineering Graphics Games and Quizzes (University of Texas)</p>
 <p>http://viz.bd.psu.edu/viz/technical_needs.html Visualization Assessment and Training. The Pennsylvania State University</p>	 <p>http://illuminations.nctm.org/ActivityDetail.aspx?ID=125 National Council of teachers of mathematics. USA and Canada</p>
 <p>http://htic.educacion.es/w3/eos/MaterialesEducativos/mem2001/108d/index.html Ministerio de Educación. Instituto de Tecnologías Educativas</p>	 <p>http://www2.ubu.es/expgraf/expgrain/visualizacion3d/index2.shtml Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería. Universidad de Burgos</p>
 <p>http://bjornson.inhb.de/?p=55 Mental Rotation Training (Björn Kechel)</p>	 <p>http://www.vandenoever.info/software/cubetest/ CubeTest (Jos van den Oever)</p>

Fig. 49. Ejemplos de aplicaciones web de libre acceso que desarrollan las HE

Veurink y otros (2009) *The EnViSIONS (Enhancing Visualization Skills-Improving Options aNd Success)*. Michigan Technological University y Penn State Erie (The Behrend College)

Desarrollaron un material para valorar y potenciar las habilidades espaciales: EnViSIONS. Lo incorporaron con éxito en seis universidades. La mejora de las HE de los participantes fue estadísticamente significativa. Incluso cuando se aplicó sólo parte del material.

Se estructura sobre el contenido del libro y software de Sorby y Wysocochi (2003): bocetos en isométrica; proyecciones ortográficas; desarrollos; rotación de objetos sobre un solo eje; rotación de objetos sobre dos o más ejes; reflexiones de objetos y simetría; secciones transversales; superficies y sólidos de revolución, booleanas. También introdujeron un módulo desarrollado por Michigan Tech de proyecciones ortográficas de superficies inclinadas y curvas.

El material se incorporó en la web VIZ (The Visualization Assessment and Training Project) http://viz.bd.psu.edu/viz/technical_needs.html (Fig. 50), que fue desarrollada en Penn State Behrend en 1999. Los módulos de VIZ usan animaciones para ilustrar los conceptos y registra la precisión y los tiempos empleados para cada ejercicio. El equipo de investigación de VIZ en Penn State Behrend creó también juegos interactivos.

Se aplicaba (no se tiene constancia de si actualmente también) en 7 instituciones, que lo incorporaron en 2007: Michigan Tech, Penn State Behrend, Purdue University. University of Iowa, Virginia State University. Virginia Tech, and a "Project Lead the Way" course in South-Central Arizona. Todos los participantes usaron el libro, total o parcialmente y la mayoría de ellos, también el software.

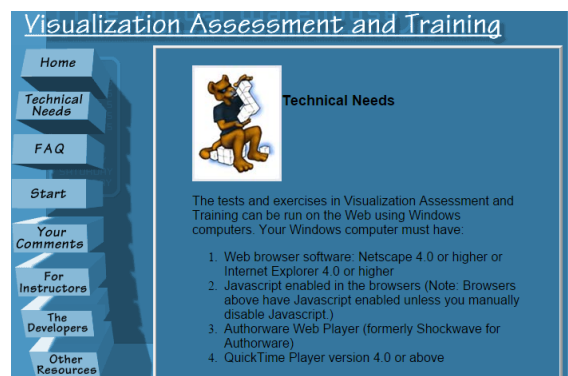


Fig. 50. Web VIZ

MODELAR OBJETOS EN 3D

Parece haber evidencia de que el modelado 3D desarrolla las habilidades espaciales (Torner y otros, 2014; Sorby 2009; Sorby y Baartmans, 1996; Sorby y Gorska, 1998).

Basham y Kotrlik (2008) *Efectos del modelado 3D en el desarrollo de las HE*. Mississippi 9th grade Technology Discovery students.

Estudiaron los efectos del modelado en CAD 3D (CADD) en unos módulos de rotación. Compararon cuatro grupos: profesor y módulo (experimental); sólo módulo (experimental), materiales existentes (experimental) y sin instrucción de CADD (control).

El curso que desarrolló mejor las habilidades espaciales fue el que incluía el módulo de modelado de CAD, pero con profesor. El curso de CAD sin profesor no obtuvo beneficios diferentes al grupo de control. En opinión de los autores, varios factores pueden explicar la falta de ganancia. La teoría del aprendizaje constructivista sugiere que al reflexionar sobre experiencias, los estudiantes construyen su propia comprensión del mundo. Pero para que los estudiantes aprendan de esta manera, deben participar activamente en las actividades programadas. Aunque la tecnología multimedia ha sido relativamente exitosa como una herramienta de aprendizaje, no es suficiente por sí misma para garantizar que los estudiantes aprendan. Las clases en grupo dirigidas por un profesor ayudan a tener éxito en tareas más complejas que haciéndolo solo. Trabajar en una tarea con los demás no sólo proporciona oportunidades para reproducir lo que otros están haciendo, sino también para discutir procedimientos o conceptos relacionados.

GEOMETRÍA DESCRIPTIVA – EXPRESIÓN GRÁFICA

“La geometría descriptiva es un conjunto de técnicas geométricas que permite representar el espacio tridimensional sobre una superficie bidimensional. Por tanto, mediante «lectura» adecuada posibilita resolver problemas espaciales en dos dimensiones de modo que se garantiza la reversibilidad del proceso” (Wikipedia)

Varios autores han demostrado que el estudio de la geometría descriptiva produce mejoría importante en las habilidades espaciales. Por ejemplo (Saito y otros, 1998; Tsutsumi y otros, 2005; Kovács y Németh, 2014). En realidad la geometría descriptiva incluye varias de las actividades que se han mencionado: croquis, ejercicios....

Tsutsumi y otros (2005) *Curso de Geometría descriptiva*. Universität Innsbruck, Vienna University of Technology, Austria. Dresden University of Technology, Germany

Compararon los efectos de un curso de un semestre de geometría descriptiva entre cinco grupos. Uno de ellos no cursó la asignatura. Los grupos que siguieron el curso de geometría descriptiva obtuvieron unas ganancias muy superiores al que no lo hizo. El proceso de resolución de problemas (en el test MCT), parecía indicar que *con la geometría descriptiva no sólo aumenta la habilidad espacial, sino también un tipo de pensamiento lógico*.

Kovács y Németh (2014). *Estudio de Geometría Descriptiva*. Szent István University, Budapest, Hungary. University of West Hungary, Sopron, Hungary.

Analizan el impacto de estudiar geometría descriptiva en las HE en las dos universidades. En ambas obtuvieron ganancias, aunque diferían. Los autores lo justificaban por las diferencias en los programas de la asignatura de Geometría Descriptiva, pero no se especificaban.

El desarrollo de las habilidades espaciales con el estudio de la geometría en 3D también se ha comprobado. En una tarea de geometría 3D, el proceso de decodificación de la imagen del sólido dado incluye la identificación de formas 3D en varias representaciones (perspectivas o vistas ortográficas), centrándose en sus componentes y relacionándolos. Por otro lado, el proceso de codificación requiere la capacidad para construir las propias representaciones mentales con base a los resultados de decodificación (Pittalis y Christou, 2010). Por tanto, la visualización y conceptualización de los objetos 3D son procesos cognitivos complejos. Pensando en potenciar la capacidad espacial de los estudiantes, es necesario que participen en actividades enfocadas a desarrollar sus habilidades para decodificar y codificar la información espacial y, en consecuencia, desarrollar su pensamiento geométrico 3D (Lowrie, 2012; Pittalis y Christou, 2010; Markopoulos y otros, 2015).

Marunic y Glazar (2014) *Curso de Gráficos en Ingeniería*. University of Rijeka, Faculty of Engineering. Croatia.

Comparan resultados entre dos cursos de 45 horas. Uno de ellos con metodología tradicional (dibujo en 2D y modelado) y otro con modelado 3D. De sus resultados y la revisión bibliográfica, deducen que para mejorar las HE, la asignatura de ingeniería gráfica debe ser un *modelo híbrido que conste de contenidos tradicionales (croquis, vistas ortográficas, vistas auxiliares, perspectivas, secciones) y los contenidos que implica el modelado*. Enfatizan la importancia del dibujo a mano alzada.

Torner (2009), Torner, Alpiste y Brigos (2014), *“Desarrollo de habilidades espaciales en la docencia de la Ingeniería Gráfica”*.

En 2006, Torner y Farrerons escribieron *“Aunque la capacidad de razonamiento espacial varía en función del alumno, este sistema facilita su desarrollo gracias la manipulación geométrica de los elementos. Por otra parte, la resolución de problemas permite al estudiante practicar con los conceptos teóricos de la materia (Poliedros, etc.)”*

Durante dos cursos académicos consecutivos (2005-06 y 2006-07) se realizó un trabajo de campo a un total de 812 estudiantes (668 hombres y 144 mujeres) de algunas escuelas de la Universitat Politècnica de Catalunya. El 35% cursaban la especialidad de mecánica, el 31% química, el 26% electrónica, el 6% electricidad y el 2% textil.

Desarrollaron además un modelo que permite evaluar la mejora de La habilidad espacial (HE) de los estudiantes de ingeniería de la asignatura de primer curso Expresión Gráfica y diseño asistido por ordenador. El modelo permite ponderar las principales variables y orientar sobre qué mejoras introducir en la práctica docente.

Los resultados mostraron un claro incremento en las habilidades espaciales, lo que les llevó a concluir que la metodología empleada en la asignatura favorecía su entrenamiento. Los grupos con puntuaciones iniciales más bajas mejoraron más que el resto. Concluyeron también que el uso de una herramienta de modelado en 3D junto con las actividades de la asignatura favorece el desarrollo de la habilidad espacial, ya que una gran parte de la carga lectiva se realizaba mediante el programa de modelado en 3D Solidworks.

Se realizó una comparativa de los resultados respecto a cada una de las variables estudiadas. La comparativa mostró diferencias importantes en conocimientos previos de CAD y Especialidad. Es curioso que la puntuación en el test de rotación mental MRT inicial fue mayor en química, aunque al final se igualó en todas las especialidades. El test de plegado mental DAT-SR siempre fue mejor en mecánica.

Para los estudiantes que habían obtenido puntuaciones en el test DAT inferiores a 27, que suponía un 22% de ellos, propusieron sesiones iniciales de refuerzo.

Compararon los resultados con las notas de la asignatura; se observó mayor relación con DAT. MRT no pareció ser un buen instrumento de medida ya que no aportaba relaciones significativas. Sobre todo, existía una relación clara entre DAT inicial y la prueba que evalúa el

conocimiento de los alumnos en geometría del espacio. Este hecho les condujo a *programar más actividades sobre la geometría del espacio*.

OTRAS METODOLOGÍAS QUE FAVORECEN EL DESARROLLO DE LAS HE

Se resumen otras metodologías que favorecen el desarrollo de las habilidades espaciales aunque no sea su finalidad principal.

García, Martín, Suárez, Pérez, y Suárez (2002). *S.A.D. (Sistema de Apoyo al Dibujo): Una herramienta integrada en la enseñanza de la Expresión Gráfica*. Universidad de Las Palmas Basada en web. Proporciona apoyo teórico, permite la realización de ejercicios y prácticas interactivas y facilita la autoevaluación de los contenidos aprendidos mediante distintos modelos de autocorrección avanzados. La aplicación almacena la actuación en un perfil del usuario que puede ir siguiendo su evolución.

Se establecen cuatro niveles de complejidad de contenidos: Básico (compuesto por piezas sencillas); Nivel 1 (para practicar con vistas auxiliares simples); nivel 2 (para practicar con vistas auxiliares dobles y múltiples); Conjuntos (para practicar el dibujo de conjuntos). Las piezas están modeladas en 3D y el usuario puede manipularlas para elegir el punto de vista. En los conjuntos se puede acceder a una simulación animada del funcionamiento del mecanismo y a otra de desmontaje (Fig. 51).

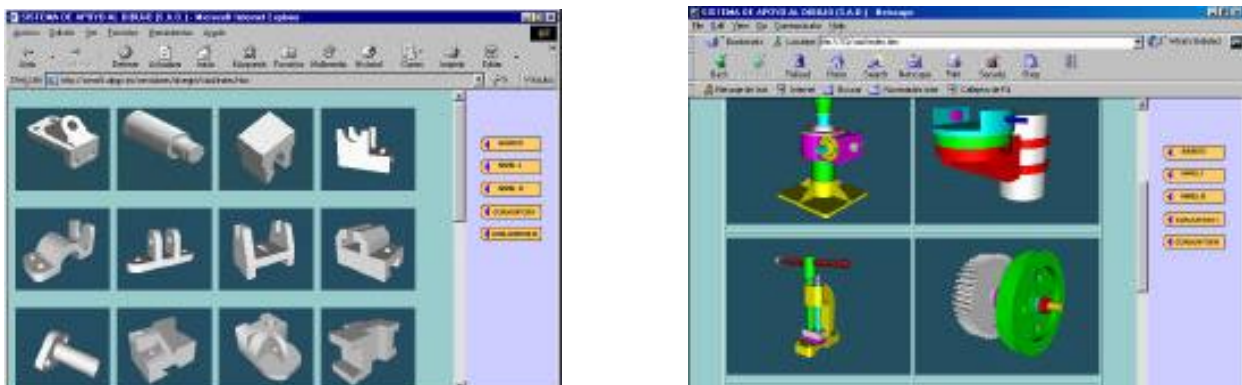


Fig. 51. Ejemplos de SAD (Sistema de Apoyo al Dibujo)
A la izda. Nivel 1 (para practicar vistas auxiliares simples). A la dcha. conjuntos.

Company, Contero, Piquer, Aleixos, Conesa y Naya (2003) *Aplicación docente de un programa de modelado 3D mediante bocetos axonométricos*. Universidad Jaume I de Castellón, Univ. Politécnica de Valencia y Univ. Politécnica de Cartagena. Esta aplicación informática dispone de un *papel virtual* sobre el que el usuario dibuja a mano alzada con un *lápiz virtual*. El boceto que introduce el usuario es una representación pseudo-axonométrica de un modelo poliédrico. La aplicación incluye un analizador que reconoce y reconstruye automáticamente el modelo 3D bocetado. El proceso es interactivo, por lo que el usuario puede modificar el boceto y ver los efectos de dicha modificación sobre el modelo (Fig. 52).

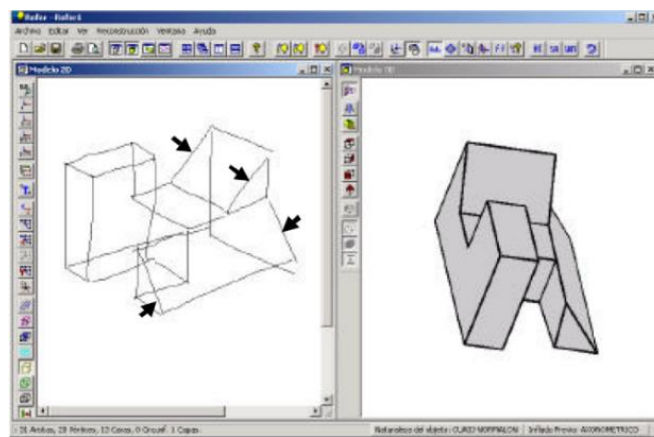


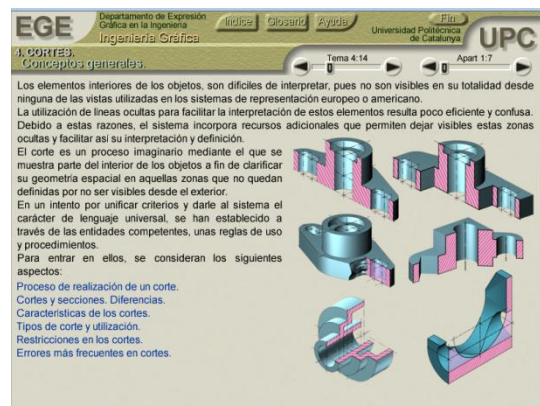
Fig. 52. Aplicación de modelado 3D mediante bocetos axonométricos

Hernández, Hernández, Ochoa y Font (2006) *Ingeniería Gráfica, Diseño y Normalización. (Aplicación en formato CD)*. Universitat Politècnica de Catalunya

Es un material multimedia que permite acceder de forma interactiva a los conceptos y acciones asociadas, muchas de ellas animadas. Los contenidos están pensados para facilitar el aprendizaje de las asignaturas gráficas en los estudios de Ingeniería Industrial y Aeronáutica. Están organizados de forma que se pueda avanzar de forma progresiva. Los temas que abarca son: lugares geométricos, representación de objetos, características de las proyecciones, sistemas de representación, cortes, secciones y roturas, acotación, acotaciones especiales, signos superficiales, tolerancias, ejemplos de objetos dimensionados, dibujo de mecanismos, elementos de unión fija, elementos de unión desmontable y elementos de transmisión (Fig. 53).



Proyecciones



Cortes



Mecanismos



Engranajes

Fig. 53. Material multimedia desarrollado para aprender asignaturas gráficas

Gómez-Fabra (2007). *Colaboración de un programa 3D en la lectura diédrica y obtención del modelo*. Universitat Jaume I. Detalla un sistema de obtención de un modelo sólido, a partir de las vistas diédricas del objeto. El método de trabajo desarrollado contiene capacidad de verificación de la obtención del modelo, obliga a la toma de decisiones y familiariza con las rotaciones en el espacio (Fig. 54).

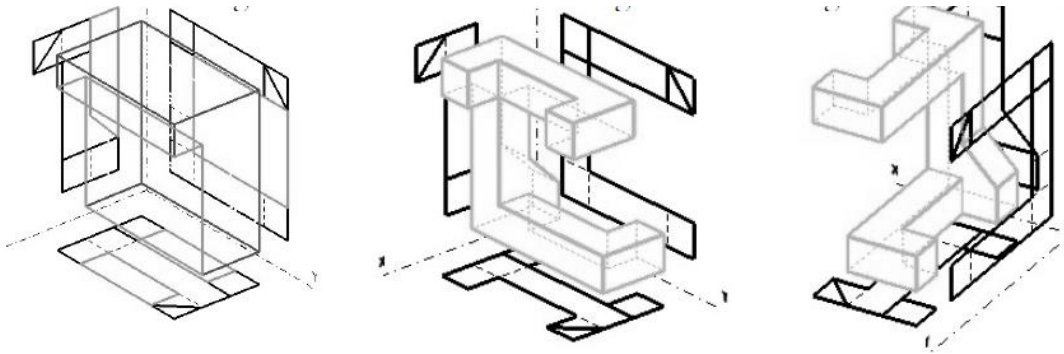


Fig. 54. Sistema de obtención de un sólido a partir de las vistas ortográficas

Ochoa de Eribe y Berrio-Otxoa (2007) *Fomento del auto-aprendizaje bajo plataformas virtuales WEB, de los contenidos específicos para la definición formal y dimensional, de componentes industriales no normalizados*. Universidad de Vitoria-Gasteiz.

Establecen un entorno virtual que se estructura en tres niveles formativos: adecuación de conocimientos previos precisos, análisis y definición formal de componentes no normalizados. Se establecen además tres niveles de dificultad. Cada ejercicio se estructura en tres apartados de acceso diferente, según las necesidades de cada alumno: enunciado, solución y resolución. Dentro del primer nivel formativo, proponen unos ejercicios de concepción espacial 3D/2D/3D (Fig. 55).

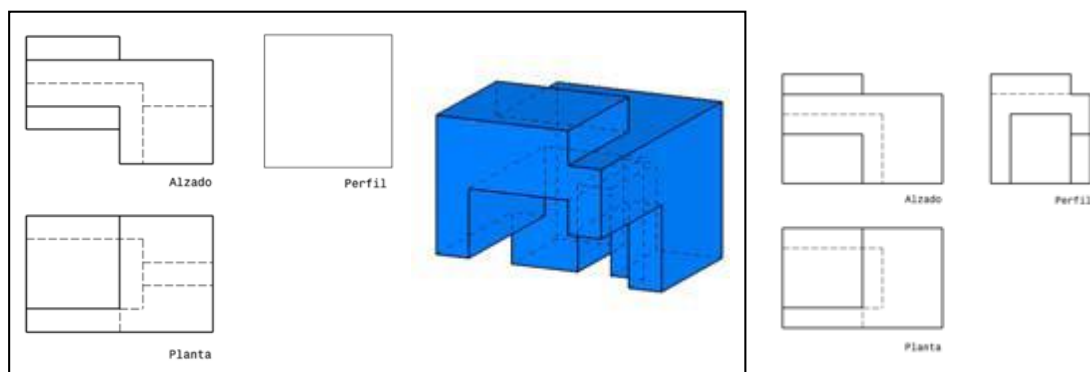


Fig. 55. Dadas la planta y el alzado, representar la vista de perfil. Se establece una resolución por pasos.

Aliaga, Casati y Rúa (2008) *Implantación de metodologías activas basadas en la materialización mediante maquetas de proyectos de ingeniería, con contenidos transversales*. Universidad Politécnica de Madrid. Describen una experiencia de aprendizaje cooperativo en el aula, mediante la construcción de maquetas por los alumnos. El objetivo es trabajar superficies, mecanismos y estructuras y favorecer la interdisciplinariedad entre materias. Siempre con el fin de desarrollar el razonamiento espacial (Fig. 56).

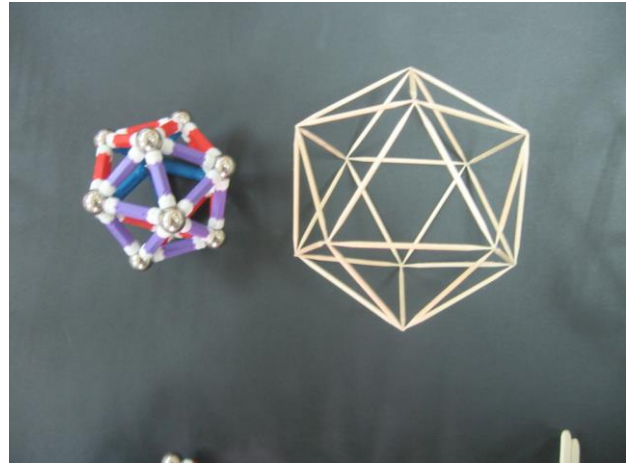
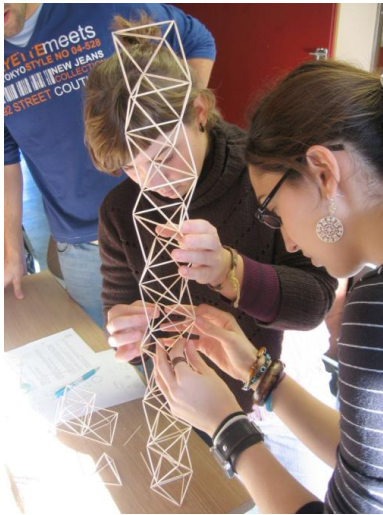


Fig. 56. Construcción de maquetas de proyectos de ingeniería

Prádanos, Sanz, González, Hernández y Espinosa (2009) *Prácticas interactivas de Dibujo Técnico*.

Es un programa informático que permite a los alumnos realizar una serie de ejercicios sobre la materia de Dibujo Técnico en Ingeniería. Los ejercicios se dividen en cuatro bloques. El primero es de identificación de superficies (criterio de Pérez Carrión y Serrano). El segundo bloque es de 6 vistas. Se da una pieza en perspectiva, y 12 vistas desordenadas (6 correctas y 6 incorrectas). Consiste en colocar cada una de las 6 correctas en su lugar normalizado. El tercer bloque es “de vistas mínimas”. Dadas una perspectiva y 6 vistas de una pieza, hay que señalar las vistas mínimas para definir la pieza. Por último, el bloque de cortes, donde debe señalarse la solución correcta entre varias que se dan. Ofrece un histograma de los intentos de resolución y si no se soluciona en tres intentos, se puede pasar a una explicación teórica (Fig. 57).

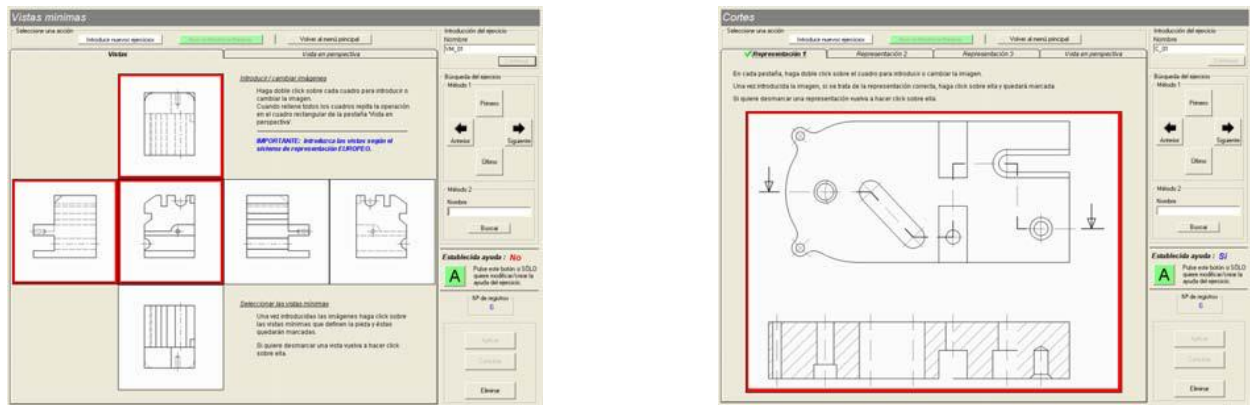


Fig. 57. Izda. Vistas mínimas necesarias. Dcha. Determinación de la sección

Comesaña y Alegre (2009) *Actividades manipulativas dirigidas a la enseñanza: Origami para ingenieros*. Desarrollaron una experiencia consistente en la elaboración de una serie de prácticas en las que el alumno, utilizando la técnica del *Origami* o papiroflexia, podía conseguir figuras relevantes como los poliedros regulares y otras aplicaciones en la ingeniería. Los alumnos acogieron la actividad con gran interés y el hecho de proponer actividades manipulativas permitió introducir conceptos que se asimilaban de forma casi intuitiva. A lo largo del desarrollo del curso, se fue despertando el razonamiento y la imaginación, lo que logró desarrollar en ellos una mejor visión del espacio.

TABLAS RESUMEN

Se han resumido los estudios descritos en unas fichas. Las puntuaciones medias de las pruebas se han puesto en porcentajes con el fin de facilitar su comparación. Únicamente se han recogido los resultados de los test empleados en esta investigación: DAT-SR, PSVT:R, y MCT. La desviación estándar se ha situado entre paréntesis.

(Sorby, 2009) CURSOS DE INSTRUCCIÓN A LA VISUALIZACIÓN ESPACIAL 3D (1993-2004)

Michigan Technological University, EEUU 1º Ingeniería.

Incluye resultados de estudios anteriores: (Sorby & Baartmans 1995), (Leopold et al. 1996)

Cursos introductorios para alumnos con pobres HE empleando material preparado para desarrollarlas

1993-1997: Curso de 3 créditos. Duración de 10 semanas: 2h teoría+ejercicios y 2h CAD (relacionado).

1998: el software multimedia reemplazó los ejercicios de CAD en 4 de las 9 sesiones de laboratorio.

En 2000 se dio la opción del curso anterior (QTR), o uno nuevo de 1 crédito (SEM), basado en software multimedia impartido en 2 h/semana

	DAT-SR			PSVT:R			MCT		
	Pre%	Pos%	Gan%	Pre%	Pos%	Gan%	Pre%	Pos%	Gan%
1993 N=24				51,7		30,3			
1994 N=16				48,0		31,3			
1995 N=47				54,7		20,3			
1996 N=26				50,0		31,7			
1997 N=27				48,3		29,7			
1998 N=36				50,7		22,0			
2000-SEM DAT(110), PSVT 157),MCT(N=109)	62,1		15,8	48,3		25,4	34,8		17,8
2000-QTR DAT(99),PSVT (186), MCT(N=99)	62,3		16,0	50,5		26,4	37,9		13,5

Todos los cursos produjeron ganancias significativas.

En los cursos del 2000, las ganancias fueron muy similares, excepto en el test MCT, donde los participantes que habían asistido al curso semestral superaron a los demás. Quizás el corte por planos se puede ilustrar mejor con software multimedia.

En una investigación con estudiantes universitarios que no eran de ingeniería, comprobaron que los dos grupos que participaron en actividades de boceto tenían significativamente mayores ganancias en habilidades espaciales en comparación con aquellos que no lo hicieron. Sin embargo, cuando se preguntó a los participantes en las actividades de formación cuál era su método de tratamiento preferido, la mayoría indicó que les hubiera gustado trabajar con el software por sí solo, a pesar del hecho de que este método de tratamiento parece ser el menos eficaz.

La importancia de dibujar para el desarrollo de las habilidades espaciales no puede ser subestimada.

(Leopold et al. 2001) Leopold, Górka y Sorby . CURSOS DE GEOMETRÍA DESCRIPTIVA University of Kaiserslautern (UKL) in Germany (arq. e ing), Cracow University of Technology (CUT) in Poland(ing), and Michigan Technological University (MTU) in the USA. (ing)						
Evalúan su experiencia en la mejora de las HE. Comparan los métodos empleados en geometría descriptiva y cursos gráficos y su influencia en el desarrollo de la SA en las 3 universidades						
UKL. Geometría Descriptiva (15 semanas)						
CUT. Geometría Descriptiva (15 sem.)						
MTU. Introducción a Ingeniería Gráfica (15 sem.)						
	DAT-SR			MCT		
	Pre%	Pos%	Gan%	Pre%	Pos%	Gan%
UKL Pre N= 220 (43%M)	82,4			63,8		8,6
Pos N=104(45%F)	(13,3)			(20,4)		(15,7)
CUT Pre N=198(34%M)	82,4			59,8		14,3
Pos N=177(27%F)	(13,8)			(19,3)		(17,1)
MTU Pre N= 57(29%M)	81,3			57,6		10,0
Pos N= 46(26%F)	(16,1)			(18,6)		(11,1)
Deducen de sus resultados, a partir de la comparación entre los programas de las asignaturas, (corroborando los de Sorby and Gorska) que los cursos de dibujo y croquis mejoran más las HE que los cursos de CAD.						
MCT pre-test predictor de resultados asignatura en todas, MRT en dos y DAT en los 3, pero muy poco significativo.						
Alta correlación entre los resultados de los estudiantes en cada una de las pruebas.						

(Pérez Carrión, T.; Serrano Cardona 1998). CURSO para desarrollar las HE BASADO EN EJERCICIOS DE EXPRESIÓN GRÁFICA Universidad de Alicante			
Realizan un curso para desarrollar las HE basado en ejercicios de expresión gráfica, con estudiantes de primero de ingeniería Sesiones de 30 a 60 minutos en clases semanales durante 6 meses			
	DAT:SR		
	Pre%	Pos%	Gan%
N=167 entre grupo de control y grupo experimental.	57,3 (7,8)	65,3 (9,5)	
Comprueban ganancias significativas después de realizar el curso			

(Hsi et al. 1997) CURSO INTRODUCTORIO DE INGENIERÍA GRÁFICA University of California at Berkeley	
Curso introductorio de ingeniería gráfica en 1º de ingeniería para estudiantes con bajas puntuaciones en test de HE. Duración: 3 horas Incluye diferentes tipos de ejercicios de papel y lápiz, aplicaciones informáticas para construcción de bloques y visualización de objetos. N= 153 (121M+32F)	
Mejoraron las diferencias de género y redujo la proporción habitual de alumnos que fracasan durante el curso.	

(Veurink et al. 2009) MATERIAL DESARROLLADO PARA VALORAR Y DESARROLLAR LAS HE

Michigan Technological University and Penn State Erie, The Behrend College

Material desarrollado para valorar y desarrollar las habilidades espaciales. The EnVISIONS (Enhancing Visualization Skills-Improving Options aNd Success).

Se aplica en 7 instituciones: Michigan Tech, Penn State Behrend, Purdue University. University of Iowa, Virginia State University. Virginia Tech, and a "Project Lead the Way" course in south- central Arizona.

Se estructura sobre el contenido del libro y software de Sorby y Wysocochi (2003):

1. Bocetos en isométrica
2. Proyecciones ortográficas
3. Desarrollos
4. Rotación de objetos sobre un solo eje
5. Rotación de objetos sobre dos o más ejes
6. Reflexiones de objetos y Simetría
7. Secciones Transversales
8. Superficies y sólidos de revolución
9. Boleanas

También introducen un módulo desarrollado por Michigan Tech de proyecciones ortográficas de superficies inclinadas y curvas.

Todos los participantes usaron el libro, total o parcialmente y la mayoría de ellos, también el software.

La web VIZ (The Visualization Assesment and Training Proyect) fue desarrollada en Penn State Behrend en 1999

Los módulos de VIZ usan animaciones para ilustrar los conceptos. Registra la precisión y los tiempos empleados para cada ejercicio.

Cada universidad lo incorporó en 2007.

En los últimos años, el equipo de investigación de VIZ en Penn State Behrend creó juegos interactivos.

Utilizan los test: PSVT: R, un subconjunto de diez preguntas de MCT y Lappan modificado (Lappan, 1981)

Incorporaron el material con éxito en diversas formas a las seis universidades. Mejoraban las HE de los participantes. Las ganancias fueron estadísticamente significativas. Incluso cuando se aplicaba parcialmente el material.

(Connolly 2009) Participa en proyecto EnVISIONS. CURSO DE INTRODUCCIÓN EN INGENIERÍA GRÁFICA

Department of Computer Graphics Technology, Purdue University

introductory engineering design graphics course to computer graphics technology and industrial design students at Purdue University. Geometric Modeling for Visualization and Communication. 1 semestre (16 semanas)

	PSVT:R		
	Pre%	Pos%	Gan%
N=54	79,4	84,3	4,9

Concluye que los participantes que obtenían peores puntuaciones en el pre-test, más mejoría experimentaban.

(Maizam Alias et al. 2002) ACTIVIDADES para desarrollar las HE en la asignatura DISEÑO ESTRUCTURAL

Tun Hussein Onn University College of Technology. Malaysia. Estudiantes de Ingeniería Civil.

Actividades específicas para desarrollar las HE en la asignatura de diseño estructural, manipulado objetos y dibujando a partir de la observación y la imaginación

N=57 (28 de grupo de control + 29 grupo experimental). Test diseñado para este estudio

El grupo de control mejora 10,7% y el experimental 16,3%. Hombres y mujeres mejoran igual con la intervención.

(Kinsey 2003), (Towle et al. 2005), (Onyancha et al. 2007), (Kinsey et al. 2009) **DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE DOS HERRAMIENTAS: PMR Y AVS para aplicar con Software de CAD**
University of New Hampshire Mechanical Engineering

Desarrollan y evalúan dos herramientas enfocadas a potenciar la capacidad espacial:

1. Physical Model Rotator (PMR), hace girar un modelo físico de un objeto en movimiento sincronizado con un modelo del mismo objeto en el software CAD.
2. La otra herramienta de entrenamiento, Alternative view screen (AVS), proporciona al usuario de software de CAD un modelo sólido (incluyendo sombreado) y una vista en dibujo de línea del objeto.

Duración: 4 semanas. 1h/semana (2h PMR + 2h AVS)

En 2007 se realizó un curso de entrenamiento para estudiantes con pocas HE. De 86 alumnos, 27 obtuvieron puntuaciones en PSVT:R < 60%. El curso de entrenamiento se realizó con 11 (6F+5M). El resto formaron el grupo de control (1F+15M).

La eficacia de las herramientas de formación se evaluó mediante la comparación de resultados de las pruebas capacidad espacial antes y después del entrenamiento.

	PSVT		
	Pre%	Pos%	Gan%
Hombres N= 20			3,95
Mujeres N = 7			8,50

No se detectaron diferencias significativas entre el grupo de control y el grupo experimental. Comprobaron que las herramientas habían aumentado la HE. Pero el aumento no fue estadísticamente significativo, posiblemente porque la muestra era pequeña

(Contero, M., Company, P., Saorin, J., & Naya 2006). **EXPRESIÓN GRÁFICA Y Herramienta para Croquizar**
Universitat Politècnica de Valencia y Universidad de La Laguna

Aplican herramienta e-CIGRO. Aplicación para croquizar en una Tablet, con reconocedores geométricos. En un curso corto para desarrollar las HE en los alumnos de primer curso de ingeniería con niveles de HE más bajos.

Duración: 6 horas en sesiones de 2 horas

También analizan HE después de cursar la asignatura de Expresión Gráfica

2004-2005	DAT-SR	
	Pre%	Pos%
Expresión Gráfica		
Ingeniería Electrónica	M - 72,6 (17,8)	M - 84,7 (12,8)
Pre: N=70 (60M+10F)	F - 72,5 (18,7)	F - 81,5 (13,9)
Pos: N=49 (41M+8F)		
Ingeniería Civil	M - 67,3 (18,2)	M - 83,1 (8,9)
Pre N=58 (33M+25F)	F - 60,4 (18,2)	F - 79,6 (15,0)
Pos N=21 (13M+8F)		
Ingeniería Química	M - 75,0 (17,2)	M - 84,5 (15,5)
Pre N=22 (12M+10F)	F - 66,5 (12,9)	F - 86,4 (7,7)
Pos: N=16 (9M+7F)		
Curso para desarrollar las HE con eCIGRO para estudiantes que habían obtenido puntuaciones bajas (<15.05 (37,6%) en MRT y <41,53 (69,2%) en DAT-SR)		
N=20	55,0 (10,4)	67,3 (14,9)

Las aplicaciones basadas en croquis pueden proporcionar una forma eficaz de mejorar las habilidades espaciales y captar la atención de los estudiantes. Estimulan a los estudiantes y crear una actitud positiva hacia las tareas de boceto.

(Rafi et al. 2005) **ENTORNO VIRTUAL BASADO EN LA WEB**

Universiti Pendidikan Sultan Idris. Faculty of Information Technology

Estudian la mejora de las HE usando un entorno virtual :Web-based Virtual Environment (WbVE).

Comparan dos tipos de entrenamiento:

1. WbVE
2. Clase convencional

Constan de módulos de rotación mental y de visualización.

5 semanas. 2h/semana

Cada grupo: N=49 (23M+26F)

Comprueban que la herramienta es más efectiva que la docencia tradicional.

(Rafi et al. 2006) APLICACIÓN DE DIFERENTES METODOLOGÍAS APLICADAS A EJERCICIOS DE DIBUJO DE INGENIERÍA
Information Technology and Communication (ITC), Universiti Pendidikan Sultan Idris, Malaysia.

Se aplicaron tres grupos con diferentes condiciones aplicadas a ejercicios de dibujo de ingeniería:

1. Interactive Engineering Drawing Trainer (EDwgT) (con ordenador). Descargado de *The Visualization Assessment and Training Project (VIZ)* <http://viz.bd.psu.edu/viz/>
2. Enseñanza convencional utilizando materiales impresos mejorados con videoclips digitales
3. Instrucción convencional utilizando materiales impresos.

Los grupos 1 y 2 fueron experimentales y el grupo 3 de control.

Duración: 10h. 5semanas, 2h/semana

Los cursos mejoraron significativamente la visualización. Mejoró también la precisión en rotación mental pero no la velocidad de rotación. Las actividades de dibujo de Ingeniería parecen tocar más la habilidad de visualización espacial que la habilidad de rotación mental.

(Rafi & Samsudin 2009) HERRAMIENTA DE ENTRENAMIENTO DE ROTACIONES MENTALES

Information Technology and Communication (ITC), Universiti Pendidikan Sultan Idris, Malaysia

Práctica de entrenamiento de rotaciones mentales usando una herramienta interactiva: Interactive Desktop Mental Rotation Trainer (iDeMRT). Permite la interacción con los objetos virtuales y evaluaciones de respuestas.

Duración: 3 semanas. Cada sesión de entrenamiento duró 2 horas: la primera sesión con ejercicios simples de rotación mental, la segunda moderadamente difíciles y en la tercera tareas complejas de RM.

N=30 (18M+12F)

En general, hubo una mejora sustancial en la precisión de la RM. No se observaron efectos principales de la formación y de género. Para la medida de la velocidad de la RM, no se observó ninguna mejora apreciable, confirmando los resultados del estudio anterior

(Basham & Kotrlik 2008) EFECTOS DEL MODELADO 3D EN EL DESARROLLO DE LAS HE

Mississippi 9th grade Technology Discovery students

Estudian los efectos del modelado en CAD 3D (CADD) en el desarrollo de la HE en estudiantes de educación en tecnología (Módulos de rotación). Comparan diferentes formas de instrucción

Curso de 1 semestre (al menos 95 min. Por día)

4 grupos: 1. Profesor y Módulo (Experimental); 2. Sólo Módulo(Experimental); 3. Materiales existentes(Experimental)

4. No Instrucción de CADD (Control)

N= 464	PVRT		
	Pre%	Pos%	Gan%
1.N=101		50,0	
2.N=164		41,9	
3.N=116		37,9	
4.N=83		42,2	

El curso que desarrolló mejor las HE fue el de que incluía el módulo de modelado de CAD, pero con profesor. El curso de CAD sin profesor no obtuvo beneficios diferentes al grupo de control.

(Tsutsumi et al. 2005) CURSO DE GEOMETRÍA DESCRIPTIVA Universität Innsbruck, Vienna University of Technology, Austria. Dresden University of Technology, Germany			
Desarrollo de HE tras cursar Geometría Descriptiva. Se comparan 5 grupos. Uno de ellos con experiencia previa en geometría descriptiva y otro grupo de control. Duración: 1 semestre			
	Pre%	MCT Pos%	Gan%
TUW dg exp	80,0	87,6	
TUW dg	61,6	75,2	
UAK dg	57,6	67,2	
TUD dg	67,2	73,6	
UAK ref	50,8	50,8	
Los grupos experimentales aumentaron mucho más que el grupo de control. En todos los grupos menos en 1, hubo importantes diferencias entre hombres y mujeres. El proceso de resolución de problemas parecía indicar que con la geometría descriptiva no sólo aumenta la habilidad espacial, sino también un tipo de pensamiento lógico			

(Martín Gutiérrez 2010) Compara el desarrollo de las HE con cinco tipos diferentes de entrenamiento. Universidad de la Laguna			
	DAT-SR		
	Pre%	Pos%	Gan%
Curso de entrenamiento de 5h. con varios videojuegos tipo Tetris: se realizan dos cursos de entrenamiento: Uno para PC y otro para Nintendo DS. N=35			
	69,2 (17,2)	84,4 (14,2)	15,2 (8,2)
Curso de entrenamiento con Realidad Aumentada de 9h. N=24			
	58,3*(14,6)	76,9*(14,1)	18,6*(8,2)
Curso Ejercicios Tradicionales. 10h. N=29			
	57,0*(19,0)	74,2*(18,0)	17,2*(12,5)
Curso Geometría Descriptiva clásico 9h. N=21			
	62,6*(20,8)	78,9*(18,7)	16,3*(10,6)
Curso Geometría Descriptiva con Visualizador 3D y dinámico. 9 h. N=19			
	59,1*(16,9)	77,1*(11,1)	18,0*(8,7)
*DAT-5:SR Versión de 50 ítems Todos los cursos mejoran las HE. Pero algunos proporcionan conocimientos en sistemas de representación gráfica. Los estudiantes tienden a preferir los entrenamientos que les permiten formación autónoma y están basados en nuevas tecnologías.			

(Torner et al. 2014) Analizan la mejoría de la capacidad espacial mediante el USO DE SOFTWARE DE MODELADO DE SÓLIDOS 3D y desarrollan un MODELO QUE PERMITE EVALUAR LA CAPACIDAD ESPACIAL de los estudiantes de ingeniería- Universitat Politècnica de Catalunya.			
N=812	DAT-SR		
	Pre%	Pos%	Gan%
EUETIB	65,8 (19,8)	79,1 (17,2)	
ETSEIB	75,8 (19,0)	84,8 (17,6)	
El uso de modelado 3D mejora las habilidades espaciales. DAT es un buen indicador. MRT no.			

(Mataix Sanjuán et al. 2014) Conjunto de ACTIVIDADES diseñadas para MEJORAR las HE y el bocetado. Incluidas en la asignatura de Expresión Gráfica

Universidad de Granada. Grados en Ingeniería Civil, Ingeniería Química e Ingeniería Electrónica Industrial

	PSVT:R		
	Pre%	Pos%	Gan%
No participaron en ninguna actividad	70,0	79,2	9,2
Asistentes a seminarios	34,9	62,5	27,7
Participantes en actividades (hasta 33%)	49,7	69,7	20,0
Participantes en actividades (33-67%)	55,9	75,4	19,5
Participantes en actividades (> 67%)	64,4	77,1	12,7
Los participantes en alguna de las actividades planteadas, obtuvieron mejoras bastante superiores a los que no participaron.			

(Kovács & Németh 2014) Impacto de estudiar GEOMETRÍA DESCRIPTIVA en el desarrollo de las HE

Szent István University, Budapest, Hungary. Estudiantes de arquitectura de YBL Miklós Faculty of Architecture and Civil Engineering. *University of West Hungary, Sopron, Hungary*. Estudiantes de ingeniería industrial y diseño industrial (madera) de Simonyi Károly Faculty of Engineering, Wood Sciences and Applied Arts (SKF)

Todos experimentan ganancias, aunque difieren. Posiblemente la causa entre estas diferencias sea los diferentes programas de la asignatura de Geometría Descriptiva en las diferentes universidades. No se especifican

(Marunic & Glazar 2014) Gráficos en INGENIERÍA

University of Rijeka, Faculty of Engineering. Croatia. Department of Mechanical Engineering Design,

2012: Traditional eng. graphics topics(2D CAD modelling, multimedia environment), 45 h

2013: 3D CAD modelling, 45 h

Con sus resultados y la revisión bibliográfica que realizan, consideran que para mejorar las HE, la asignatura de ingeniería gráfica debe ser un modelo híbrido que conste de contenidos tradicionales (croquis, vistas ortográficas, vistas auxiliares, perspectivas, secciones) y los contenidos que implica el modelado. Enfatizan especialmente el dibujo a mano alzada.

Otras investigaciones no han estudiado la mejora de HE tras un entrenamiento pero han hecho aportaciones importantes relacionadas que se reflejan aquí:

(Adanez & Velasco 2002) Analizan la relación entre MCT y el rendimiento de dibujo técnico. Y su utilidad para detectar estudiantes con baja HE.

Paulista State University at Guaratingueta Campus (UNESP) and Polytechnic School of Sao Paulo University (EPUSP). Brasil

MCT puede usarse para detectar los estudiantes con diferentes niveles de rendimiento en dibujo técnico. Correlación (Pearson) entre MCT y nota asignatura = 0.34 ($p < 0.0001$).

(Németh & Hoffmann 2006) Estudian diferencias de género Estudiantes de Ingeniería de 1º de Szent István University de Hungría			
N=187(33%F)	MCT		
	Pre%	Pos%	Gan%
	60,0 (18,8)		
Hombres			
Mujeres	50,8 (20,1)		
(Németh 2007) Evalúa el impacto de geometría descriptiva. N=250. MCT. Ganan más los hombres que las mujeres			

(Branoff 2009) Estudia los efectos de añadir ejes de coordenadas a la tarea de Rotación Mental PSVT:R en los enunciados North Carolina State University
No tuvo efecto cuando se examinaron las diferencias entre los grupos de control y experimental. Pero curiosamente, parece que elimina las diferencias de género.
El análisis de tiempo de respuesta indicó que se requirió más tiempo para procesar la información adicional de los ejes de coordenadas

(Branoff & Carolina 2014) Estudian la relación entre HE (pre-test) y modelados 3D a partir de diferentes modelados. North Carolina State University (N.C.State) Ingeniería						
<div><div>1. Modelar una parte dando un objeto en un contexto de ensamblaje</div><div>2. modelar una parte dando una isométrica del objeto</div><div>3. Modelar una parte dando un dibujo de detalle del objeto</div></div>						
N=23 (13%W)	PSVT:R			MCT		
	Pre%	Pos%	Gan%	Pre%	Pos%	Gan%
20M+3F	84,6 (17,5)			70,6 (18,9)		
(Los test se pasaron en la clase 18) Significantes correlaciones entre resultados de modelados y test. En general el test MCT tiene mayor correlación.						

(Milne et al. 2014) Estudian la influencia cultural en el aprendizaje.			
Mechanical Engineering, 1º. Módulo de Computer Aided Engineering and Design. University of Brighton, UK			
Por qué algunos estudiantes tienen dificultades para visualizar en 3D? Total alumnos1 16 (5%W), 26% africanos, este medio y asiáticos. 51 hicieron el test PSVT:R. 15 obtuvieron resultados inferiores al 60%. Estos estudiantes hicieron un curso de soporte			
	PSVT:R		
	Pre	Pos	Gan
Pre Total 51	74,7 (17,6)		
Pre grupo soporte (N=15)	53,6 (12,3)	70,8 (16,0)	
Pos (soporte)			
Seguirán investigando. Sus resultados sugieren que tareas de manipulación manual pueden desarrollar mejor las habilidades espaciales que otras tareas que se basan en el dibujo. Parece que una razón de que una proporción de estudiantes extranjeros tengan menos desarrolladas las HE pueda deberse a que su experiencia educativa ha sido menos práctica que en otras culturas.			

(Sorby, Cubero, et al. 2014). Estudian las HE de los estudiantes de ingeniería en Emiratos Árabes y las diferencias con los de EEUU. Cursos de CAD y croquis. Cursos de hombres y mujeres separados. Se comparó con estudios previos Petroleum Institute in the United Arab Emirates. Estudiantes de 2º de Ingeniería	
	PSVT:R% (SD)
N= 101(74m + 27f). La	M - 65,0 (19,5)
La mayoría eran de EEUU: (61m + 26f)	F - 40,6 (17,6)
Blancos/no hispanos (estudio previo)	M - 81,5 (13,3)
N=7502 (6347m+1155f)	F - 68,7(16,0)
Middle East /est.previo M=14	M – 52,4(18,7)
Conclusiones culturales: Sus resultados sugieren que las HE en Emiratos árabes están peor desarrolladas que las de los estadounidenses. Reflexionan sobre el hecho de que pueda deberse a diferencias culturales. Por ejemplo en juegos de niños	

(Sorby, Nevin, et al. 2014) Compara resultados de irlandeses en diferentes disciplinas con ingeniería en EEUU College of Engineering and the Built Environment Dublin Institute of Technology Ireland		
	PSVT:R% (SD)	MCT% (SD)
PSVT:R: N= 306 (271M+35F)	M - 67,0 (20,2)	M – 41,0 (17,9)
MCT: N=275 (245M+30F)	F - 55,1 (20,9)	F – 34,1(19,2)
La prueba MCT es más difícil. Hay diferencias significativas de género en las dos pruebas. Para los estudiantes de informática, las puntuaciones en la prueba de rotación son de las más altas y las puntuaciones en la prueba de corte se encuentran entre las más bajas En este estudio las habilidades espaciales de los irlandeses son más bajas que las de los estadounidenses.		

CAPÍTULO 3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

A partir de la revisión bibliográfica se acotó la investigación y se programó la experimentación.

En el primer capítulo se ha resumido la metodología empleada. El trabajo experimental se ha centrado en dos procesos relacionados y asociados a los objetivos.

El primero tenía como fin conocer las habilidades espaciales de los alumnos antes y después de cursar la asignatura, las variables que pueden condicionar las diferencias individuales en habilidad espacial y la relación entre las habilidades espaciales y los requisitos de la asignatura Expresión Gráfica. El análisis de resultados de esta experimentación nos permitiría evaluar si la metodología empleada en la asignatura es válida para potenciar la capacidad de visión espacial y qué habilidad de las evaluadas tiene más relación con la asignatura.

El segundo proceso experimental se realizó para conocer las estrategias que se empleaban en la resolución de las pruebas de habilidad espacial y averiguar cuáles eran más eficientes.

A partir del análisis de resultados de estos dos procesos, pueden seguirse unos criterios con fundamento para proponer actividades en la asignatura que potencien de la mejor forma posible las habilidades espaciales.

Una de las decisiones importantes fue seleccionar las pruebas estándar que se emplearían para medir las habilidades espaciales de los alumnos. Debían cumplir dos requisitos: evaluar las habilidades espaciales que, de entrada, podían estar más relacionadas con la ingeniería gráfica y permitir la comparación con otros estudios.

En el apartado del estudio teórico y revisión bibliográfica de mediciones espaciales (pág. 65), se ha explicado que Kelly (2013) seleccionó 24 test de habilidades espaciales disponibles para investigadores en educación de expresión gráfica. Realizó la selección a partir de la revisión de artículos relacionados y de las pruebas disponibles para educación en *Education Testing Service*. Envío una encuesta online a los miembros de Engineering Design Graphics Division (EDGD) donde les pedía que marcaran, por orden de preferencia, los 5 que consideraban mejores. Los tres primeros seleccionados fueron:

- MCT, *Mental Cutting Test*
- MRT, *Mental Rotation Test*
- PSVT:R. *Purdue Spatial Visualization Test*

A pesar de que la mayoría de los estudios publicados se centran en una o dos medidas, se decidió en esta investigación emplear tres. El hecho de evaluar tres habilidades espaciales permite estudiar de forma más amplia su relación con la ingeniería gráfica, sin centrarse en una habilidad espacial en concreto. Permite analizar además las relaciones entre ellas, dando un

paso más en la investigación sobre el conocimiento de los diferentes componentes de las habilidades espaciales.

MRT y PSVT:R son pruebas de rotación mental. Se decidió descartar para la investigación MRT. Torner (2009) Comparó los resultados de alumnos de ingeniería en los test MRT y DAT-SR (*Differential Aptitude Test: Spatial Relations*) con las notas de la asignatura y observó mayor relación con DAT-SR. MRT no pareció ser un buen instrumento de medida, Sin embargo, se han demostrado buenas correlaciones con el test PSVT:R (Maeda & Yoon, 2013).

Partiendo de los motivos expuestos, de la revisión bibliográfica en general y de las reflexiones de otros investigadores sobre los resultados de las medidas que habían empleado (pág.80),

se decidió seleccionar los test:

- DAT-SR, *Differential Aptitude Test: Spatial Relations*. (Bennett y otros, 1973). 60 ítems, 25 minutos
- PSVT:R, Purdue Spatial Visualization Test 30 ítems, 20 min. (Guay, 1977; Yoon, 2011)
- MCT, Mental Cutting Test, 25 ítems, 20 min. (CEEb, 1939)

Las habilidades evaluadas son: corte por un plano, rotación mental y plegado mental (Fig. 58). En la (pág. 65) se han descrito con detalle.

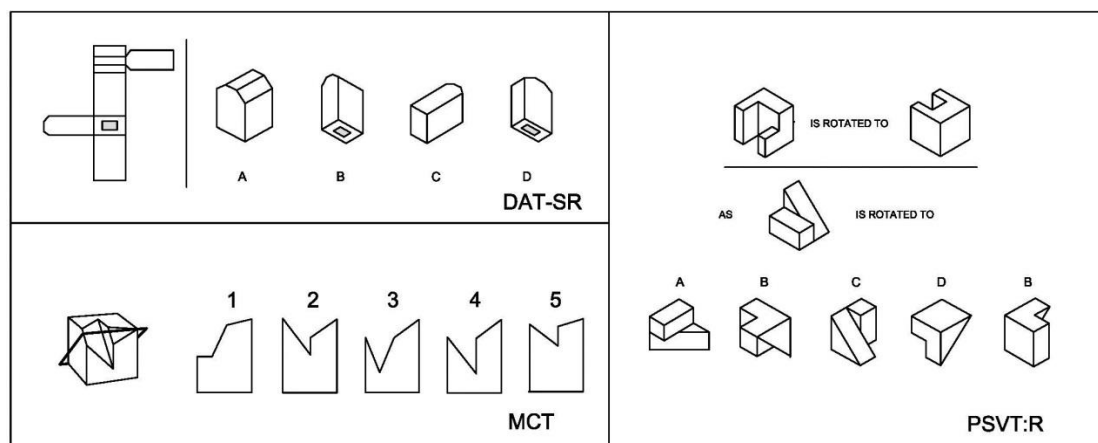


Fig. 58. Ejemplo de cada una de las pruebas empleadas

Ya se ha comentado que se optó por realizar la investigación en tres grupos de estudiantes que cursaban Expresión Gráfica en segundo cuatrimestre del curso 2014-2015. Suponían un total de 109 alumnos. La asistencia a clase no es obligatoria y el número de operaciones recogidas en cada test ha variado.

Otra consideración a tener en cuenta es que los tres grupos en los que se realizó la investigación obtuvieron mejores notas de media en la asignatura (aproximadamente un 10%)

que el conjunto de los grupos. Los test se pasaron en el segundo cuatrimestre del curso. La asignatura Expresión Gráfica en la ETSEIB se imparte en este cuatrimestre. Los alumnos se matriculan por orden de nota media de expediente obtenida en el cuatrimestre anterior. Los grupos en los que se realizó esta investigación tenían un buen horario y, por tanto, se cubrían las plazas con alumnos con buenos expedientes.

Los test se consiguieron en formato papel (pdf). El test MCT se intentó conseguir a través del *College Board Research*, antiguamente *College Entrance Examination Board (CEEB)*. En 1939 desarrolló el test MCT como una prueba de acceso a algunas universidades. Debido a su antigüedad, no les constaba en su base de datos. Se consiguió en el anexo de una tesis publicada.

Los test DAT-SR y PSVT:R los proporcionaron investigadores que los habían aplicado. Torner (2009) el test DAT-SR y Yoon (2011) el test PSVT:R, del cual había hecho una revisión.

Se decidió pasarlos en formato de formulario de Google Drive (Fig. 59). En las clases de Expresión Gráfica cada alumno dispone de un ordenador. Se pidió el NIF como identificador para relacionarlos con las notas de la asignatura y la encuesta de variables. Las imágenes del test DAT-SR se redibujaron en AutoCAD, debido a la mala calidad de las originales. En los test PSVT:R y MCT pudieron aprovecharse los dibujos de los pdf conseguidos. Las instrucciones de los test (VER ANEXOS) se mostraban en clase (en proyector y proporcionando un enlace). Los tiempos recomendados por los autores de los test se cumplieron estrictamente.

DAT-SR

*Obligatorio

NIF o NIE *

1

2

A B C D

A B C D

Fig. 59. Test DAT-SR en formulario de Google Drive

La encuesta de variables se programó también en formulario de Google Drive. Se recogieron todas las variables que pueden tener una relación con las habilidades espaciales, partiendo de la revisión de la literatura (Tab. 5). El cuestionario se programó para poderlo pasar en todas las escuelas de la UPC. En este caso los alumnos eran todos de la ETSEIB y cursaban la asignatura Expresión Gráfica.

VARIABLE
NIF o NIE (Identificador)*
Sexo*
Edad*
País de Nacimiento*
Centro de Estudios*
Estudios que está cursando*
Vía de acceso a la universidad*
Asignatura en la que se realiza la encuesta*
Es la primera vez que cursas la asignatura*
Experiencia previa con algún programa de CAD 3D*
Si la respuesta anterior es afirmativa, qué programa has utilizado más
Has cursado dibujo técnico en bachillerato*
Si la respuesta anterior es afirmativa, cuál fue tu nota media de dibujo
Nota media de matemáticas en bachillerato
Nota media de bachillerato
Nota media de las PAU (fase general)
Trabajas mientras estudias*
Consideras que tienes buena capacidad de visión espacial*
Practicas deporte habitualmente*
Si la respuesta anterior es afirmativa, qué deporte practicas más
Juegas con videojuegos habitualmente*
Si la respuesta anterior es afirmativa, qué tipo de videojuego utilizas más
Diestro o zurdo*
Realizas alguna actividad artística (pintura, escultura...)*
Jugabas habitualmente con juegos de construcción (Lego, Meccano...)*
Padres ingenieros o arquitectos*
Eres disléxico/a*
*Obligatorio

Tab. 5 Variables demográficas

El proceso que se siguió para la realización de los test fue el siguiente:

El segundo día de clase se pasó la encuesta de variables y posteriormente el test DAT-SR, el tercer día de clase el PSVT:R y el cuarto día el test MCT.

Los test de final de curso se hicieron la penúltima semana de clase, en la misma secuencia. Primero DAT-SR, segundo PSVT:R y por último MCT. Esta última parte fue complicada de realizar. Los alumnos al final de curso están estresados, con mucho trabajo y las actividades que no puntúan pierden interés para ellos. Por ese motivo el número de operaciones válidas se reduce bastante respecto a los test iniciales.

Fue necesario comparar los resultados de los test finales con los iniciales y depurarlos. Se decidió eliminar aquellos en los que la puntuación del post-test se reducía en más de un 10% (sobre la puntuación total) respecto al test inicial. Se consideró que en estos casos los test no se habían resuelto con interés. Aquellos en los que la puntuación se había reducido menos de un 10% se optó por mantenerlos, interpretando que podían ser errores normales.

ENTREVISTAS PERSONALES:

Unas semanas después de realizar los pre-test, se animó a todos los participantes a realizar una entrevista personal con el fin de conocer qué estrategias aplicaban para resolverlos. A pesar de que se programó con la aplicación *Doodle* un amplio calendario, debido a la carga de trabajo y falta de tiempo de los alumnos, se apuntaron 36 voluntarios (12 mujeres y 24 hombres). Los promedios de resultados de los test de los entrevistados fueron superiores al conjunto de los alumnos. En general, los estudiantes con menos habilidades espaciales mostraron menos interés. Just y Carpenter (1985) opinaban que no es esencial estudiar grupos numerosos de sujetos para documentar diferentes estrategias, aunque si el grupo es mayor, puede indicarse con mayor precisión la frecuencia relativa de las estrategias.

Se decidió seguir un protocolo verbal y personal para detectar mejor las estrategias. Es complicado evaluar con éxito el uso de estrategias en tareas espaciales. Pensar en voz alta el método aplicado puede inhibir la ejecución de la tarea, mientras que si se hace después puede sufrir distorsiones de memoria (Strasser y otros, 2010).

Con la intención de que la información suministrada por los alumnos fuera lo más precisa posible, se optó por el siguiente método: Se preparó una recopilación de entre 7 y 9 ítems representativos de cada test que incluían diferentes tipologías de ejercicios y niveles de dificultad, según las puntuaciones obtenidas en los pre-test. Antes de empezar la entrevista de cada prueba, los participantes analizaban los ítems seleccionados, sin marcar las respuestas.

Posteriormente, explicaban cómo la resolvían, se tomaba nota y se les hacían preguntas de un cuestionario programado.

Las tablas de resultados incluyen las listas de verificación iniciales (en anexo), completadas con las aportaciones de los alumnos recogidas en las entrevistas. Las listas de verificación se confeccionaron a partir de información recogida de estudios previos de otros autores, aunque no correspondían a los mismos test (Peters y otros, 1995; Strasser y otros, 2010; Hegarty, 2010 y Marunic y Glazar, 2014). Los estudiantes clasifican más estrategias cuando se les da una lista de verificación que si se identifican a partir de sus protocolos verbales, pero los protocolos verbales proporcionan validez a las listas de verificación de estrategias (Hegarty, 2010).

Al final de curso se envió por correo a los alumnos de los tres grupos participantes una encuesta de opinión con cuatro preguntas:

- En general, crees que tienes una capacidad de visión espacial (*Muy mala / Mala / Normal / Buena / Muy buena*)
- ¿Crees que has mejorado tu capacidad espacial durante el curso? (*No / Poco / Bastante / Mucho*)
- Qué parte de la asignatura crees que te ha ayudado más para desarrollar tus habilidades espaciales (*Modelado / Planos / Modelado + Planos / Poliedros / Superficies / Poliedros y Superficies, Otra*)
- Qué parte de la asignatura te ha gustado más o te ha parecido más interesante (*Modelado / Planos / Modelado + Planos / Poliedros / Superficies / Poliedros y Superficies, Otra*)

Por otro lado, a partir de la bibliografía y de un primer análisis de resultados de los test iniciales, se seleccionó el que se preveía que pudiera tener más relación con los requisitos de la asignatura (MCT) y se profundizó en su estudio. Se amplió la población a otros estudiantes de ingeniería de la UPC que cursaban asignaturas gráficas, con el fin de obtener una muestra más representativa. Se solicitó la colaboración de los profesores del departamento. Se programó un formulario de Google que incluía el test MCT con instrucciones.

Considerando que estaba acabando el curso y que disponer de media hora de clase para cumplimentar la encuesta de variables y el test sería complicado, se solicitó a los profesores que animaran a sus alumnos a hacerlo por su cuenta. Se adjuntó el enlace para acceder al

test. Para motivar más a los participantes, se les dio la opción de recibir un informe con las respuestas que habían acertado (si incluían su mail en la casilla programada). Para ello se instaló el complemento *Flubaroo* en el formulario de Google Drive programado. El tiempo de ejecución del test no se pudo controlar de forma automática. Simplemente se insistió en las instrucciones en la importancia de emplear un tiempo máximo de 20 minutos. De todas formas, el tiempo límite de 20 minutos es suficiente para resolver los 25 ítems y no suele ser una traba en la ejecución del test. La asignatura Expresión Gráfica se imparte en muchas escuelas el primer cuatrimestre, motivo que redujo el número posible de participantes. Sumaron un total de 142 (se han incluido en este grupo los participantes del test MCT-pos).

Con la intención de analizar más variables que puedan afectar a las habilidades requeridas en el test MCT y comparar los resultados de los estudiantes de ingeniería con otras poblaciones, se hizo difusión del test (con instrucciones) y una encuesta de variables reducida incluida en el mismo formulario. Se envió a familiares y amigos y se les solicitó que lo difundieran. Se revisaron también para eliminar aquellos que correspondían a la misma persona o que se habían enviado con unos pocos ítems resueltos. Sumaron un total de 233 válidos.

Las variables fueron: Sexo, edad, ¿Cómo calificarías tu capacidad de visión espacial?, ¿qué estás estudiando o qué estudios o profesión tienes?, ¿Experiencia con algún programa de CAD 3D?, ¿Practicas deporte habitualmente?, ¿Juegas con Videojuegos?, Diestro o zurdo, ¿jugabas habitualmente con juegos de construcción?

El análisis estadístico de los resultados se realizó con el software IBM SPSS Statistics 20. Las variables estudiadas en el análisis fueron las puntuaciones en los test iniciales y test finales, las notas de curso, las variables demográficas y las concernientes a la encuesta de opinión (Tab. 6)

Las variables contempladas en la entrevista se especifican en el análisis de resultados correspondiente (pág. 186)

Variable	Medida	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ID	Nominal									
DAT-Pre	Escala									
PSVT-Pre	Escala									
MCT-Pre	Escala									
DAT-Pos	Escala									
PSVT-Pos	Escala									
MCT-Pos	Escala									
Nota P1	Escala									
Nota model	Escala									
Nota P2	Escala									
Nota P3	Escala									
Nota Final	Escala									
Sexo	Nominal	Mujer	Hombr							
Edad	Escala									
País nac.	Nominal									
Centro est.	Nominal									
Estudios	Nominal	Tec.Ind	Ing.Mat	Ing.Quí						
Vía acceso	Nominal	Bach	Téc.Sup	>25 a.	Ac.Ex.la	Tit.Univ	Otros			
Asignatura	Nominal	EGI	EGII	Otro						
Repetidor	Nominal	No	Sí							
Exp.CAD3D	Nominal	No	Si							
Pro.CAD3D	Nominal	SW	AutoC	Catia	3DStud	Sketch.	Rhinoc.			
Dib.Bach	Nominal	No	Si							
Nota dib.	Ordinal	5-5,9	6-6,9	7-7,9	8-8,9	9-10				
Nota mat.	Ordinal	5-5,9	6-6,9	7-7,9	8-8,9	9-10				
Nota bach.	Ordinal	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10				
Nota PAU	Ordinal	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10				
Trabajos	Nominal	No	Si							
SA (2)	Nominal	No	Si							
Deporte	Ordinal	No	<2	2-5	5-10	>10				
Qué Dep.	Nominal	Fútbol	Basqu.	Handb.	Tenis	Natac.	Fitness	Otros		
Videojueg.	Ordinal	No	<2	2-5	5-10	>10				
Qué videoj.	Nominal	Acción	Disparo	Estrate.	Simulac	Deport	Carrer	Avent	Rol	Otros
Lateralidad	Nominal	Diestro	Zurdo							
Act.Art	Nominal	No	Si							
Jueg.const.	Nominal	No	Sí							
Padres ing.	Nominal	No	Uno	Los dos						
Dislexia	Nominal	No	Si							
SA (5)	Ordinal	Muy M.	Mala	Normal	Buena	Muy B.				
Mejora SA	Ordinal	No	Poco	Bastant	Mucho					
Tema SA	Nominal	Model.	Planos	Mod+pl	Polied	Superfic	Poli+Su	Otros		
Tema gust.	Nominal	Model.	Planos	Mod+pl	Poliedr	Superfic	Poli+Su	Otros		

Tab. 6. Variables contempladas en el análisis estadístico

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este apartado recoge los resultados del trabajo experimental y su análisis y discusión en relación a la bibliografía consultada. Se presentan clasificados en:

- Resultados de las pruebas DAT-SR, PSVT:R y MCT realizadas a inicio (test-pre) y a final de curso (test-pos). Notas de la asignatura Expresión Gráfica.
- Análisis de variables demográficas y sus relaciones con las habilidades espaciales estudiadas.
- Estrategias empleadas en la resolución de las pruebas y su relación con los resultados.
- Encuesta de opinión
- Análisis de las pruebas. Dificultad de ítems. Comparación en MCT de los resultados de las diferentes poblaciones estudiadas
- Relaciones entre las pruebas y las notas de la asignatura
- Análisis de mejoría de las habilidades espaciales después de cursar la asignatura
- Relaciones entre las diferentes pruebas

4.1 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS (DAT-SR, PSVT:R Y MCT)

En la Tab. 7 constan las medias y desviaciones estándar de resultados de los test realizados a inicio de curso (pre), a final de curso (pos) y las ganancias obtenidas (pos-pre). Las puntuaciones máximas son diferentes en cada una de ellos: DAR-SR = 60, PSVT:R = 30 y MCT = 25.

Con la intención de poder comparar los resultados, se han especificado en este caso las puntuaciones en porcentajes de aciertos sobre 100. Las puntuaciones mejoraron una media de un 8,8% sobre la puntuación total en PSVT:R, un 9,5% en MCT y un 10,9% en DAT-SR.

<i>Media de % Aciertos (Standar deviation)</i>								
<i>DAT-SR</i>			<i>PSVT:R</i>			<i>MCT</i>		
Pre N=101	Pos N=77	Gan N=69	Pre N=99	Pos N=58	Gan N=54	Pre N=105	Pos N=71	Gan N=66
73,1 (15,9)	83,0 (13,6)	10,9 (10,0)	75,1 (16,0)	84,8 (11,1)	8,8 (11,1)	61,0 (17,8)	67,6 (19,4)	9,5 (11,6)

Tab. 7. Puntuaciones en las pruebas iniciales y finales. Ganancias

En primer lugar se ha realizado un análisis descriptivo. Se han representado los gráficos Box-Plot de los resultados (Fig. 60). Puede apreciarse la diferencia existente entre las tres pruebas y las variaciones entre las iniciales y las finales

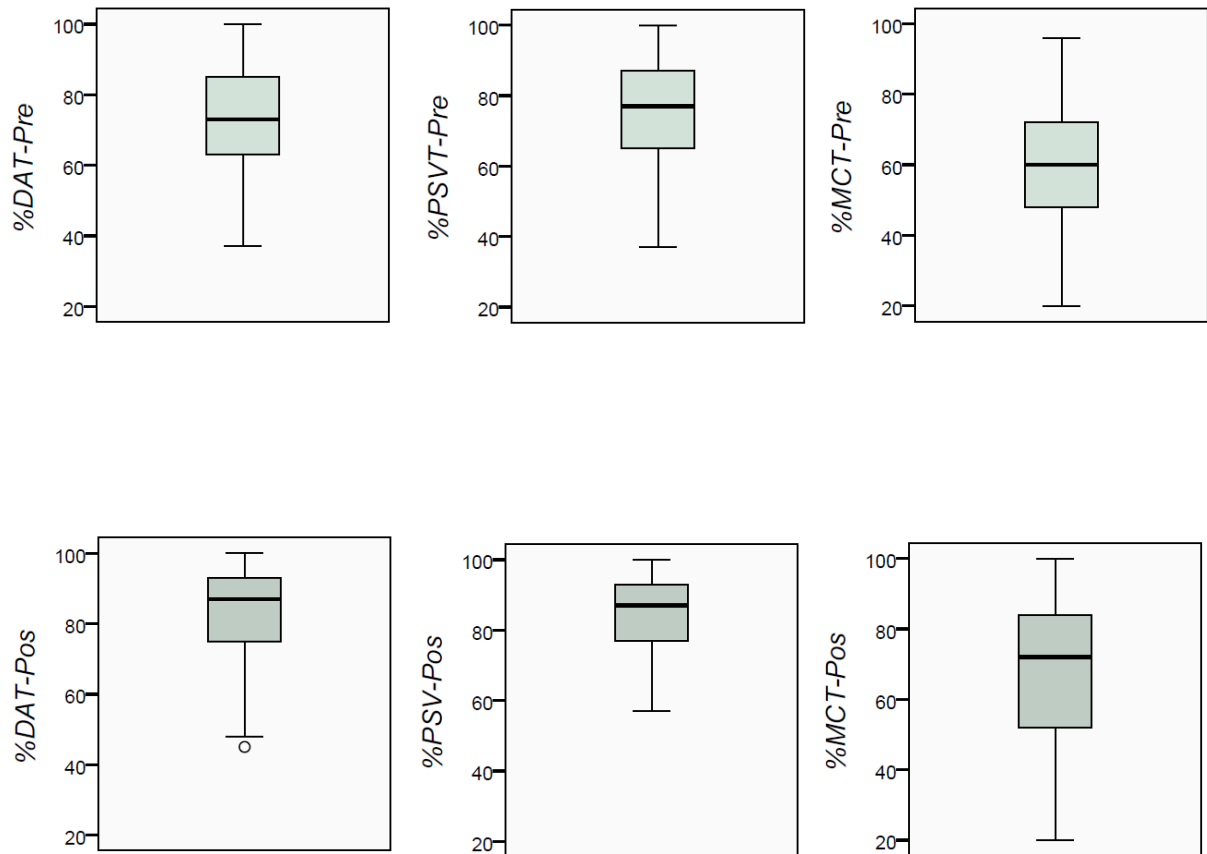


Fig. 60. Box-plot de pruebas iniciales y finales

Los datos anómalos, fuera del rango habitual (outliers), se analizaron caso por caso.

En los Box-Plot de los test-Pos se observa la diferencia respecto a los test-pre. Los resultados se concentran más en las puntuaciones altas, indicando la mejoría en las puntuaciones.

Se observa en los gráficos que la distribución más ajustada a la normalidad (curva de Gauss), corresponde a MCT. En los test DAT-SR y PSVT:R, los datos se concentran en las puntuaciones altas, especialmente en PSVT:R-Pos. Se analizan con más detalle en la pág. 210.

Con la intención de relacionar los resultados obtenidos en los test con las evaluaciones de la asignatura, se han analizado también las variables de Nota P1, Nota de modelado, nota P2, nota P3 y nota Final de curso.

Cada una de las pruebas se realiza en 1h 50min. En la prueba P1 el alumno dispone de una o varias axonométricas acotadas de una pieza y del e-drawing correspondiente. Consiste en modelar la pieza y hacer el plano necesario para definirla (vistas, cortes y acotación). La parte de modelado es un 40% de la nota y el plano un 60%. Se ha decidido también incluir la nota de modelado (sin plano) para estudiar su relación con los resultados en las pruebas de habilidades espaciales. Las notas se han establecido sobre 100 en esta investigación para facilitar la comparación con las pruebas de HE.

La prueba P2 consiste en modelar una pieza poliédrica, a partir de relaciones geométricas dadas.

La prueba P3 trata de definir unas superficies de revolución, aplicando condiciones geométricas, de generación y de tangencias de las superficies, o a partir de secciones producidas o desarrollos.

La nota final (NF) se obtiene a partir de la fórmula:

$$NF_{\text{curso}} = 0,3 \cdot P1 + 0,35 \cdot P2 + 0,35 \cdot P3$$

Los alumnos pueden aprobar por curso si $NF_{\text{curso}} \geq 5$. Si suspenden o si quieren subir nota, pueden presentarse al examen final. El examen final (EF) consta de tres pruebas similares a las anteriores y con el mismo criterio de puntuación. En ese caso la Nota final es la mayor de:

$$NF_{\text{curso}} \text{ ó } NF = 0,4 \cdot NF_{\text{curso}} + 0,6 \cdot EF.$$

En este trabajo únicamente se han considerado las notas finales de los estudiantes que habían completado el curso. Los casos en que el alumno sólo se había presentado a una o a dos pruebas, se han descartado.

En el anexo se han incluido la guía de la asignatura y las pruebas puntuables que corresponden a las notas P1, P2 y P3.

En la Fig. 61, se han representado los Box-Plot de todas las evaluaciones. Como puede observarse, los resultados de la prueba P3 (de superficies), fueron muy altos a causa de su escasa dificultad. Se ha decidido despreciar esta nota para relacionarla por sí sola, a pesar de que se considera en la Nota Final total.

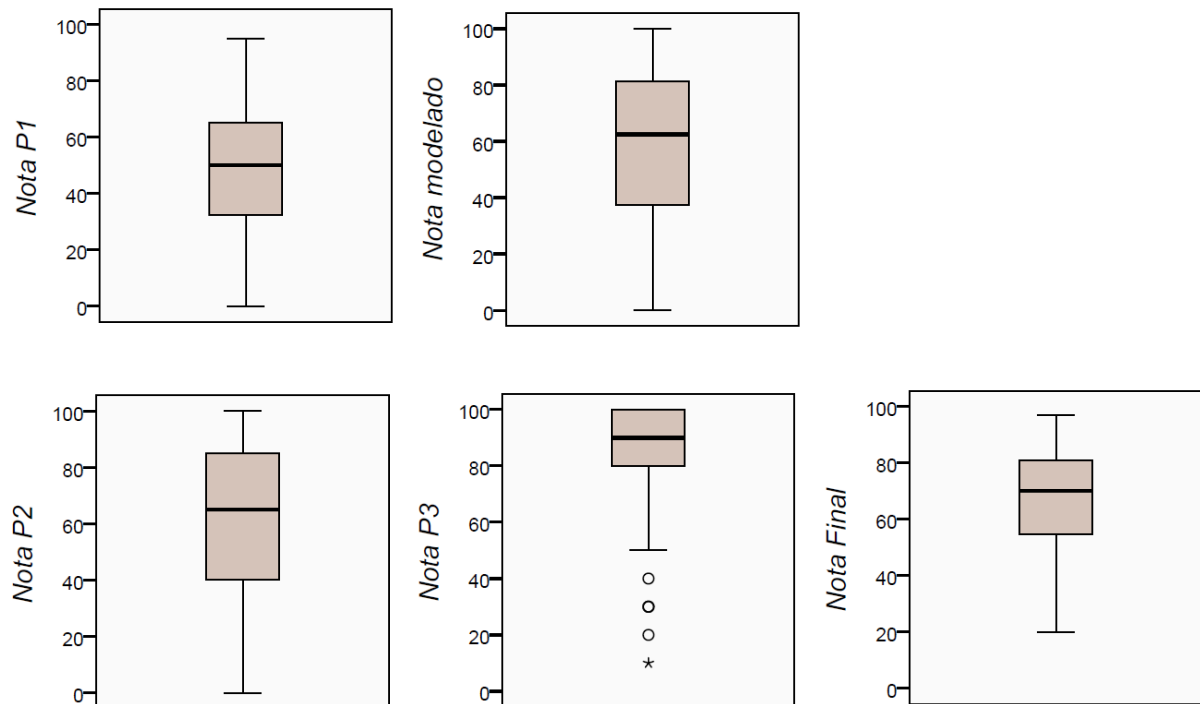


Fig. 61. Box-Plot de evaluaciones de la asignatura

Tras el análisis de los Box-Plot, se han realizado las pruebas de normalidad de datos. En función de los resultados, se aplican o no pruebas paramétricas en el análisis de relaciones entre variables.

Se estudia la forma de la variable para ver si sigue o no el modelo de distribución normal de la Campana de Gauss (Fig. 62). Se analizan asimetría y curtosis. La distribución “normal” permite asociar probabilidades a cada valor de una variable cuantitativa. Es una condición necesaria para la aplicación de bastantes técnicas paramétricas, especialmente de contraste de hipótesis⁴.

El *índice de asimetría* refleja el grado de desviación de la “igualdad de distancias” entre puntos con respecto al valor central (la mediana). Si es menor de 1, es asimetría negativa; la mayoría de los casos están en los valores altos de la variable. Si es mayor de 1, es asimetría positiva; la mayoría de los casos en los valores bajos de la variable. Si es igual a 1, es simetría

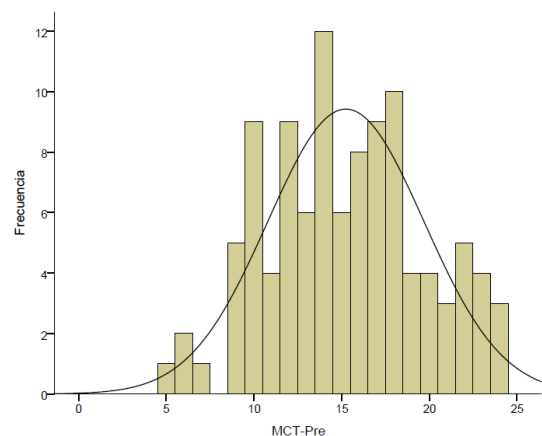


Fig. 62 Ejemplo de curva normal en MCT-pre

⁴ La descripción teórica se ha extraído de 3 datos (Miembro de la / <http://3datos.es/>)

perfecta. Entre -0,5 y +0,5 puede considerarse simétrica. Entre -0,5 y -1 indica tendencia asimétrica negativa. Entre +0,5 y +1; tendencia asimetría positiva.

El *índice de curtosis* refleja la altura de la curva, medida en el valor central (la mediana). No es lo mismo que la altura máxima. Si es menor de 1 es platicúrtica; curva baja y muy ancha. Si es mayor de 1 es leptocúrtica (curva estrecha y muy elevada). Entre -0,5 y +0,5 se considera mesocúrtica. Entre -0,5 y -1 indica tendencia platicúrtica. Entre +0,5 y +1; tendencia leptocúrtica.

La Tab. 8 contiene los estadísticos descriptivos de las variables cuantitativas relacionadas con los test, y la Tab. 9 las notas de la asignatura. Los test se han medido en dos escalas diferentes. La primera es la propia de cada test (DAT:60, PSVT:30 y MCT:25). La segunda escala de medición es sobre 100, que permite una comparación más fácil entre los tres test y con las evaluaciones de la asignatura.

Se comprueba que asimetrías y/o curtosis son > 1 en las ganancias obtenidas en los test DAT-SR y PSVT-R, y en las notas de la prueba P3, que se descarta.

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv.típ.	Asimetría		Curtosis	
	Estadís.	Estadís.	Estadís.	Estadís.	Estadís.	Estadís.	Error tip.	Estadíst.	Error tip.
DAT-Pre	101	22	60	43,82	9,560	-,355	,240	-,540	,476
PSVT-Pre	99	11	30	22,54	4,784	-,412	,243	-,621	,481
MCT-Pre	105	5	24	15,25	4,446	,049	,236	-,574	,467
DAT-Pos	77	27	60	49,79	8,131	-,936	,274	,400	,541
PSVT-Pos	58	17	30	25,45	3,336	-,769	,314	,128	,618
MCT-Pos	71	5	25	16,89	4,842	-,485	,285	-,643	,563
%DAT-Pre	101	37	100	73,08	15,899				
%PSVT-Pre	99	37	100	75,14	15,961				
%MCT-Pre	105	20	96	60,99	17,783				
%DAT-Pos	77	45	100	82,96	13,557				
%PSVT-Pos	58	57	100	84,81	11,062				
%MCT-Pos	71	20	100	67,55	19,368				
Gain DAT	69	-3	27	6,57	6,001	1,046	,289	1,133	,570
Gain PSVT	54	-2	13	2,67	3,331	1,162	,325	1,331	,639
Gain MCT	66	-2	10	2,36	2,902	,503	,295	-,518	,582
%Gain DAT	69	-5	45	10,94	10,007				
%Gain PSVT	54	-7	43	8,83	11,072				
%Gain MCT	66	-8	40	9,45	11,607				

Tab. 8. Estadísticos descriptivos de variables cuantitativas de las pruebas de HE

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv.típ.	Asimetría		Curtosis	
	Estadíst.	Estadíst.	Estadíst.	Estadíst.	Estadíst.	Estadíst.	Error típ.	Estadíst.	Error típ.
Nota P1	125	,0	95,0	49,204	22,8966	-,069	,217	-,709	,430
Nota modelado	97	,0	100,0	59,046	27,0387	-,329	,245	-,861	,485
Nota P2	121	,0	100,0	62,128	27,5618	-,343	,220	-,970	,437
Nota P3	116	10,0	100,0	85,129	19,5321	-1,698	,225	2,768	,446
Nota Final	115	20	97	67,65	16,427	-,460	,226	-,092	,447

Tab. 9. Estadísticos descriptivos de variables cuantitativas de las evaluaciones de la asignatura

Se realiza además la Prueba de bondad de ajuste. Se aplica el test de K-S (Kolmogorov-Smirnov). Genera un valor de significación p. En función de p se acepta o rechaza que la variable no difiere significativamente del modelo normal.

Se considera:

- Hipótesis nula H_0 : la variable se distribuye según el modelo normal
- Hipótesis alternativa: la variable No se distribuye normalmente

Si $p \geq 0,01$: La variable se distribuye según el modelo normal

Si $p < 0,01$: La variable no se distribuye normalmente (porque la distribución empírica difiere significativamente del modelo)

Si el valor de p está entre 0,05 y 0,01, el desvío de la normalidad no es grave. El incumplimiento de la condición de normalidad puede tener efectos graves sólo si $p < 0,01$.

En vista de los resultados, puede considerarse que las variables cuantitativas se distribuyen normalmente, excepto P3 (Fig. 63). De todas formas, con las ganancias obtenidas en los test DAR-SR y PSVT:R, se tendrá cierta prudencia al aplicar condiciones paramétricas.

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión
1	La distribución de DAT-Pre es normal con la media 43,82 y la desviación típica 9,56.	Prueba Kolmogorov-Smirnov de una muestra	,826	Retener la hipótesis nula.
2	La distribución de PSVT-Pre es normal con la media 22,54 y la desviación típica 4,78.	Prueba Kolmogorov-Smirnov de una muestra	,224	Retener la hipótesis nula.
3	La distribución de MCT-Pre es normal con la media 15,25 y la desviación típica 4,45.	Prueba Kolmogorov-Smirnov de una muestra	,559	Retener la hipótesis nula.
4	La distribución de DAT-Pos es normal con la media 49,79 y la desviación típica 8,13.	Prueba Kolmogorov-Smirnov de una muestra	,084	Retener la hipótesis nula.
5	La distribución de PSVT-Pos es normal con la media 25,45 y la desviación típica 3,34.	Prueba Kolmogorov-Smirnov de una muestra	,096	Retener la hipótesis nula.
6	La distribución de MCT-Pos es normal con la media 16,89 y la desviación típica 4,84.	Prueba Kolmogorov-Smirnov de una muestra	,257	Retener la hipótesis nula.
7	La distribución de Gain DAT es normal con la media 6,57 y la desviación típica 6,00.	Prueba Kolmogorov-Smirnov de una muestra	,230	Retener la hipótesis nula.
8	La distribución de Gain PSVT es normal con la media 2,67 y la desviación típica 3,33.	Prueba Kolmogorov-Smirnov de una muestra	,110	Retener la hipótesis nula.
9	La distribución de Gain MCT es normal con la media 2,36 y la desviación típica 2,90.	Prueba Kolmogorov-Smirnov de una muestra	,248	Retener la hipótesis nula.

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05.

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión
1	La distribución de Nota P1 es normal con la media 49,20 y la desviación típica 22,90.	Prueba Kolmogorov-Smirnov de una muestra	,792	Retener la hipótesis nula.
2	La distribución de Nota modelado es normal con la media 59,05 y la desviación típica 27,04.	Prueba Kolmogorov-Smirnov de una muestra	,159	Retener la hipótesis nula.
3	La distribución de Nota P2 es normal con la media 62,13 y la desviación típica 27,56.	Prueba Kolmogorov-Smirnov de una muestra	,137	Retener la hipótesis nula.
4	La distribución de Nota P3 es normal con la media 85,13 y la desviación típica 19,53.	Prueba Kolmogorov-Smirnov de una muestra	,000	Rechazar la hipótesis nula.
5	La distribución de Nota Final es normal con la media 67,05 y la desviación típica 16,43.	Prueba Kolmogorov-Smirnov de una muestra	,578	Retener la hipótesis nula.

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05.

Fig. 63. Prueba de bondad de ajuste. Test de Kolmogorov-Smirnov

4.2 VARIABLES DEMOGRÁFICAS

Un primer análisis descriptivo permite, de entrada, descartar aquellas variables con mínima incidencia. Las variables analizadas son: género, edad, país de nacimiento, grado, vía de acceso a la universidad, primera vez que se cursa la asignatura, experiencia previa con programas de CAD 3D, haber cursado dibujo técnico en bachillerato, notas medias de dibujo y matemáticas en bachillerato, media de bachillerato, media en las PAU's (fase general), consideración sobre la propia capacidad de visión espacial, práctica habitual de deporte, jugar habitualmente con videojuegos, lateralidad, práctica de actividad artística, juegos de construcción en infancia, padres ingenieros/arquitectos y dislexia.

Es importante estudiar la relación entre los resultados (test y notas) y las variables demográficas. Siguiendo la recomendación de algunos autores (Lloret-Segura y otros, 2014), no se ha aplicado análisis factorial porque la muestra es inferior a 200. A pesar de que hay discrepancia sobre esta cuestión. Frías-Navarro y Pascual Soler (2012) escribieron: *“Otra cuestión importante es decidir el tamaño de la muestra con el objetivo de facilitar un adecuado funcionamiento de la técnica estadística del análisis factorial exploratorio. Las recomendaciones abordan tanto el tamaño muestral total del estudio como considerar el número de casos por variable (N / p). Sin embargo, existe diversidad de opiniones. Por ejemplo, Hair, Anderson, Tatham y Black (2004) señalan que nunca se debe realizar el análisis con una muestra inferior a 50 observaciones, siendo preferible trabajar con 100 o más unidades muestrales. Otros autores opinan que la muestra nunca debería ser inferior a 100 (Gorsuch, 1983; Kline, 1994). Guilford (1954) ya recomendaba un tamaño de muestra mínimo de 200 casos y Cattell (1978) opinaba que un N entre 200-250 casos sería aceptable aunque proponía 500 como un buen tamaño muestral. Recientemente, De Winter, Dodou y Wieringa (2009) señalan que un $N=50$ es un valor mínimo razonable.”*

El proceso que se ha seguido para estudiar las correlaciones con cada una de las variables es el siguiente:

Después de una primera revisión de las frecuencias en cada una de las variables, se han agrupado algunas opciones. Se especifican en el análisis de la variable correspondiente. Se ha decidido despreciar a todos los efectos comparativos las variables: edad (muy similares), país de nacimiento (muy pocos extranjeros y de países diversos), vía de acceso (todos provienen de bachillerato menos dos) y dislexia (únicamente dos alumnos).

Se ha realizado la comparación de medias entre dos muestras independientes. Se considera que dos muestras son independientes cuando no hay una conexión entre la medición de una variable con la medición de la otra. Se ha probado la normalidad para todas las variables y grupos, excepto las descartadas. Si se comprueba que la distribución de la variable cuantitativa en cada grupo es gaussiana, se puede efectuar el test t de Student para muestras

independientes. Para todas las variables y grupos se comprobó normalidad, excepto en *DAT-POS videojuegos >5h/sem.*

Para conocer la normalidad de las distribuciones, se emplea la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Si la probabilidad del estadístico de contraste es elevada (sig), muy por encima de 0,05, puede aceptarse que ambas muestras se distribuyen normalmente.

Una vez probada la normalidad para grupos y variables, puede aplicarse T de Student para muestras independientes en las variables demográficas. La hipótesis que se somete a prueba es que la diferencia entre las dos medias toma el valor 0.

Se explica a continuación un ejemplo del proceso seguido (variable género), en variables dicotómicas. Se estudia en primer lugar la bondad de ajuste del conjunto de datos, que hace referencia a las propiedades que debe poseer ese conjunto de datos en función del modelo inferencial que se pretende utilizar. En el caso de del estadístico t para dos muestras independientes, como ya se dijo antes, los supuestos son: distribución normal o aproximadamente normal, y conocer si las varianzas poblacionales pueden ser o no asumidas iguales. Las Tab. 10 y 11 se han obtenido al aplicar T de Student.

	Género	N	Media	Desviación típ.	Error típ. media
DAT-Pre	Mujeres	29	42,24	8,725	1,620
	Hombres	72	44,46	9,862	1,162
PSVT-Pre	Mujeres	26	21,15	4,315	,846
	Hombres	73	23,03	4,873	,570
MCT-Pre	Mujeres	28	13,32	4,321	,817
	Hombres	77	15,95	4,307	,491
DAT-Pos	Mujeres	24	47,00	9,385	1,916
	Hombres	53	51,06	7,241	,995
PSVT-Pos	Mujeres	17	23,82	3,592	,871
	Hombres	41	26,12	3,018	,471
MCT-Pos	Mujeres	23	14,35	5,113	1,066
	Hombres	48	18,10	4,244	,613
Nota P1	Mujeres	33	44,909	20,9544	3,6477
	Hombres	92	50,745	23,4708	2,4470
Nota modelado	Mujeres	24	52,344	24,3679	4,9741
	Hombres	73	61,250	27,6624	3,2376
Nota P2	Mujeres	33	58,030	25,9187	4,5119
	Hombres	88	63,665	28,1415	2,9999
Nota Final	Mujeres	32	63,22	17,823	3,151
	Hombres	83	69,36	15,634	1,716

Tab. 10. Estadísticos de Grupo. Variable: Género

		Prueba de Levene		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bi Dif.media	Error típ.	95% confianza		
								Inferior	Superior	
DAT-Pre	Varianz.iguales	1,363	,246	-1,055	99	,294	-2,217	2,101	-6,386	1,953
	No varianz.igu.			-1,112	58,163	,271	-2,217	1,994	-6,208	1,774
PSVT-Pre	Varianz.iguales	,523	,471	-1,732	97	,086	-1,874	1,082	-4,020	,273
	No varianz.igu			-1,836	49,344	,072	-1,874	1,020	-3,924	,177
MCT-Pre	Varianz.iguales	,098	,755	-2,761	103	,007	-2,627	,951	-4,513	-,740
	No varianz.igu			-2,757	47,816	,008	-2,627	,953	-4,542	-,711
DAT-Pos	Varianz.iguales	2,014	,160	-2,071	75	,042	-4,057	1,959	-7,958	-,155
	No varianz.igu			-1,879	35,917	,068	-4,057	2,159	-8,435	,322
PSVT-Pos	Varianz.iguales	2,117	,151	-2,496	56	,016	-2,298	,921	-4,143	-,453
	No varianz.igu			-2,320	25,852	,028	-2,298	,991	-4,335	-,262
MCT-Pos	Varianz.iguales	1,503	,224	-3,263	69	,002	-3,756	1,151	-6,053	-1,460
	No varianz.igu			-3,055	37,031	,004	-3,756	1,230	-6,248	-1,265
Nota P1	Varianz.iguales	1,379	,243	-1,259	123	,210	-5,8355	4,6350	-15,0102	3,3393
	No varianz.igu			-1,329	62,809	,189	-5,8355	4,3924	-14,6136	2,9426
Nota modelado	Varianz.iguales	,998	,320	-1,407	95	,163	-8,9063	6,3299	-21,4728	3,6603
	No varianz.igu			-1,501	44,089	,141	-8,9063	5,9350	-20,8667	3,0542
Nota P2	Varianz.iguales	,472	,494	-1,002	119	,319	-5,6345	5,6260	-16,7744	5,5055
	No varianz.igu			-1,040	62,084	,302	-5,6345	5,4182	-16,4649	5,1960
Nota Final	Varianz.iguales	2,080	,152	-1,815	113	,072	-6,143	3,384	-12,848	,562
	No varianz.igu			-1,712	50,443	,093	-6,143	3,588	-13,347	1,062

Tab. 11. Prueba t de Student para muestras independientes. Variable: Género

Para interpretar los resultados, se pone como ejemplo el análisis de la correlación entre la variable cualitativa dicotómica *género* y la variable cuantitativa *Nota Final*.

El estadístico de Levene toma el valor 2,080 y su valor p (significación estadística) toma el valor 0,152, lo que indica que se puede asumir el supuesto de igualdad de las varianzas de las dos muestras.

El valor del estadístico t es -1,815 y su $p=0,072$. Además da el intervalo de confianza que comprende la diferencia de medias para poder aceptar la hipótesis nula, y dice que la diferencia estará comprendida entre los valores -12,848 y 0,562. Como la diferencia entre las dos medias es -6,143 (dentro del intervalo de confianza), permite aceptar que las medias de ambas muestras son estadísticamente iguales, o lo que es lo mismo, no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre las dos muestras en lo referente a su media.

Si no se cumple la condición de igualdad entre varianzas (porque en Levene: $p < 0,05$) se corrige la T de Student empleando el valor que aparece en la 2ª línea.

Los resultados han mostrado que no hay diferencias estadísticamente significativas en cuanto a Nota Final entre hombres y mujeres, y las diferencias que se aprecian parecen estar provocadas por efectos del azar.

La prueba t de Student está recomendada cuando cada uno de los grupos contienen una muestra superior a 30. En los casos que no cumple esta condición, se aplica la prueba *U de Mann Whitney*.

Puede apreciarse en la Fig. 64 que de las variables cuantitativas, en el grupo de mujeres, existe diferencia significativa en MCT-pre ($p=0,012$), PSVT-Pos ($p=0,027$) y MCT-pos ($p=0,003$).

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión
1	La distribución de DAT-Pre es la misma entre las categorías de Género.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,210	Retener la hipótesis nula.
2	La distribución de PSVT-Pre es la misma entre las categorías de Género.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,053	Retener la hipótesis nula.
3	La distribución de MCT-Pre es la misma entre las categorías de Género.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,012	Rechazar la hipótesis nula.
4	La distribución de DAT-Pos es la misma entre las categorías de Género.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,068	Retener la hipótesis nula.
5	La distribución de PSVT-Pos es la misma entre las categorías de Género.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,027	Rechazar la hipótesis nula.
6	La distribución de MCT-Pos es la misma entre las categorías de Género.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,003	Rechazar la hipótesis nula.
7	La distribución de Gain DAT es la misma entre las categorías de Género.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,821	Retener la hipótesis nula.
8	La distribución de Gain PSVT es la misma entre las categorías de Género.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,952	Retener la hipótesis nula.
9	La distribución de Gain MCT es la misma entre las categorías de Género.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,356	Retener la hipótesis nula.
10	La distribución de Nota modelado es la misma entre las categorías de Género.	Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes	,115	Retener la hipótesis nula.

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05.

Fig. 64. Prueba U de Mann-Whitney

4.2.1 GÉNERO



Fig. 65. Frecuencias. Género

En la tabla y el gráfico de la Fig. 65 puede observarse que en todos los test y notas de la asignatura, la puntuación media de los hombres superó a la de las mujeres. Sin embargo, la diferencia únicamente es significativa en las pruebas de MCT y en la final de PSVT:R: MCT-*pre* (Dif.medias=10,8%, $p<0,05$), MCT-*pos* (Dif.medias=14,8%, $p<0,01$), PSVT:R-*pos*. (Dif.medias=7,7%, $p<0,05$). La mayor significancia corresponde a la prueba final de MCT (Tab. 12).

Puntuaciones medias (SD)										
Género	DAT-Pre	PSVT-Pre	MCT-Pre	DAT-Pos	PSVT-Pos	MCT-Pos	Nota P1	Nota modelado	Nota P2	Nota Final
Mujeres	42,2 (8,7)	21,2 (4,3)	13,3 (4,3)	47,0 (9,4)	23,8 (3,6)	14,4 (5,1)	44,9 (21,0)	52,3 (24,4)	58,0 (25,9)	63,2 (17,8)
Hombres	44,5 (9,9)	23,0 (4,9)	16,0 (4,3)	51,1 (7,2)	26,1 (3,0)	18,1 (4,2)	50,7 (23,5)	61,3 (27,7)	63,7 (28,1)	69,4 (15,6)
Total	43,8 (9,6)	22,5 (4,8)	15,3 (4,5)	49,8 (8,1)	25,5 (3,3)	16,9 (4,8)	49,2 (22,9)	59,0 (27,0)	62,1 (27,6)	67,7 (16,4)
Correlación	x	x	$P<0,05$	x	$P<0,05$	$P<0,01$	x	x	x	x

Tab. 12. Puntuaciones medias y significancias. Género

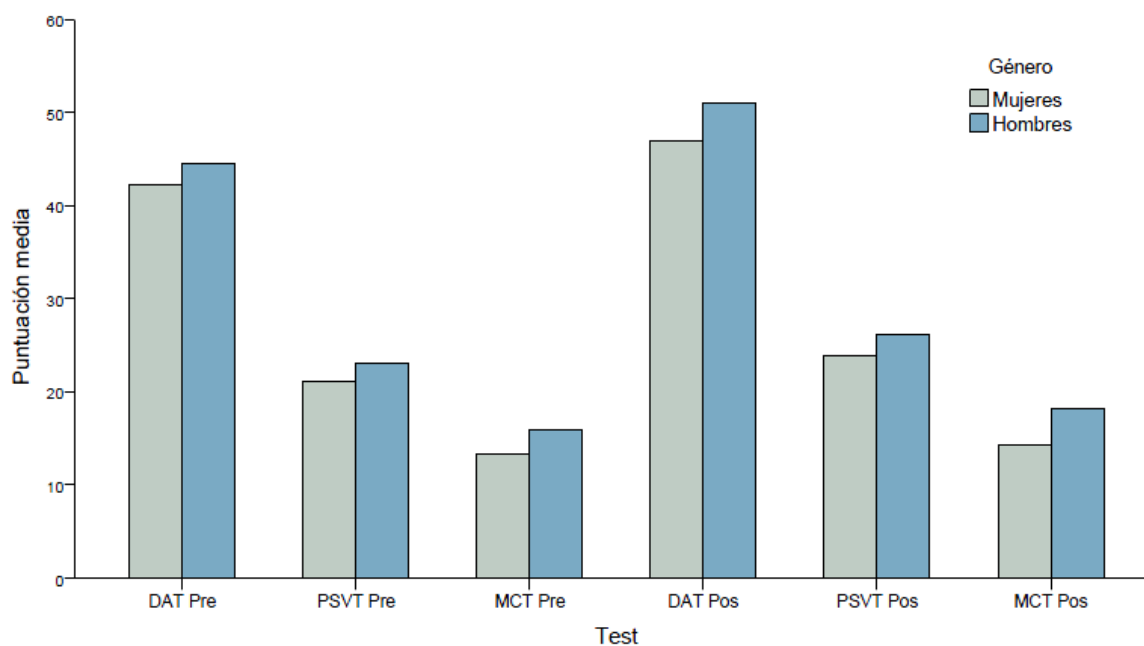
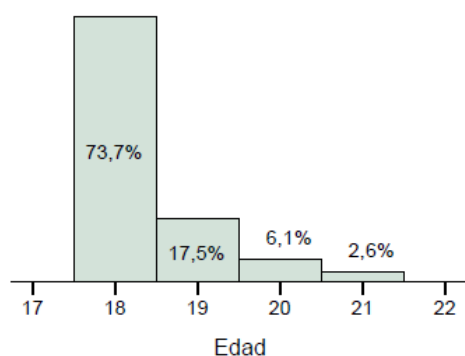


Fig. 66. Puntuaciones medias en las pruebas. Género

Las variables edad, país de nacimiento, estudios que está cursando y vía de acceso no se han considerado en el análisis de relación con test y notas porque la muestra se concentra demasiado en un grupo.

4.2.2 EDAD



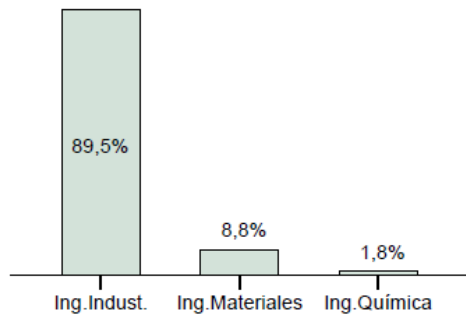
Edad	Frecuencia	Porcentaje
18	84	73,7
19	20	17,5
20	7	6,1
21	3	2,6
Total	114	100,0

Fig. 67. Frecuencias. Edad

La edad de los alumnos estaba comprendida entre 18 años (73,7%) y 21 (2,6%).

Únicamente había en clase 5 alumnos extranjeros, de diferentes países.

4.2.3 ESTUDIOS EN CURSO



Grado	Frecuencia	Porcentaje
Ing. Indust.	102	89,5
Ing. Materiales	10	8,8
Ing. Química	2	1,8
Total	114	100,0

Fig. 68. Frecuencias. Grado que cursa

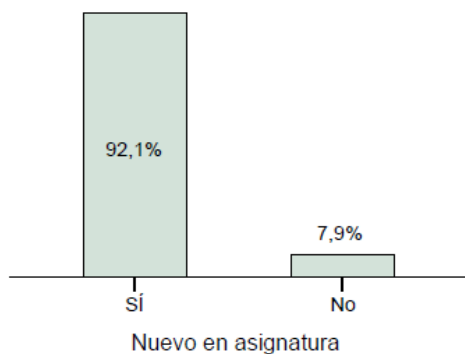
La mayoría de los participantes estudian el grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales. No se ha encontrado ninguna relación significativa entre resultados y el grado cursado. Sin embargo, Torner (2009) comparó diferentes especialidades y comprobó que el valor más alto de DAT correspondía a los estudiantes de mecánica. Los estudiantes de Química les superaban en MRT.

Puntuaciones medias (SD)										
Grado	DAT-Pre	PSVT-Pre	MCT-Pre	DAT-Pos	PSVT-Pos	MCT-Pos	Nota P1	Nota modelado	Nota P2	Nota Final
Ing. Indust.	43,6 (9,6)	22,7 (4,7)	15,5 (4,6)	50,2 (7,8)	25,3 (3,5)	17,2 (4,9)	50,7 (23,2)	60,1 (27,7)	64,8 (26,8)	68,7 (16,7)
I. Mater.	45,5	24,6	14,3	49,0	25,8	15,6	38,5	54,9	53,2	64,1
Química	(9,5)	(3,5)	(3,2)	(6,8)	(2,4)	(4,9)	(22,9)	(27,0)	(27,8)	(12,4)
Correl	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tab. 13. Puntuaciones medias. Estudios que cursa

Todos los alumnos, excepto dos provienen de bachillerato

4.2.4 PRIMERA VEZ QUE CURSA ASIGNATURA



	Frecuencia	Porcentaje
Sí	116	92,1
No	10	7,9
Total	126	100,0

Fig. 69. Frecuencias. Nuevo en asignatura

Hay que considerar que únicamente había 10 repetidores. Las medias en los test son todas superiores en los alumnos que cursaban la asignatura por primera vez, a pesar de que la diferencia únicamente es significativa en MCT, pre y pos ($p<0,05$). Con las notas de la asignatura ocurre lo contrario. Todas las medias fueron superiores en los repetidores, aunque sólo es significativa la diferencia en notas finales ($p<0,05$).

Puntuaciones medias (SD)										
Nuevo	DAT- Pre	PSVT- Pre	MCT- Pre	DAT- Pos	PSVT- Pos	MCT- Pos	Nota P1	Nota modelado	Nota P2	Nota Final
Sí	43,9 (9,7)	22,6 (4,8)	15,6 (4,4)	50,3 (7,8)	25,6 (3,4)	17,4 (4,8)	48,2 (23,3)	57,9 (27,5)	61,7 (27,6)	66,8 (16,7)
No	41,5 (6,1)	21,7 (4,3)	11,6 (3,8)	43,7 (9,9)	24,7 (3,1)	13,3 (4,1)	60,3 (13,7)	70,1 (20,4)	67,0 (28,0)	77,4 (7,6)
Correlación	x	x	<0,05	x	x	<0,05	x	x	x	<0,05

Tab. 14. Puntuaciones medias y significancias. Nuevo en asignatura

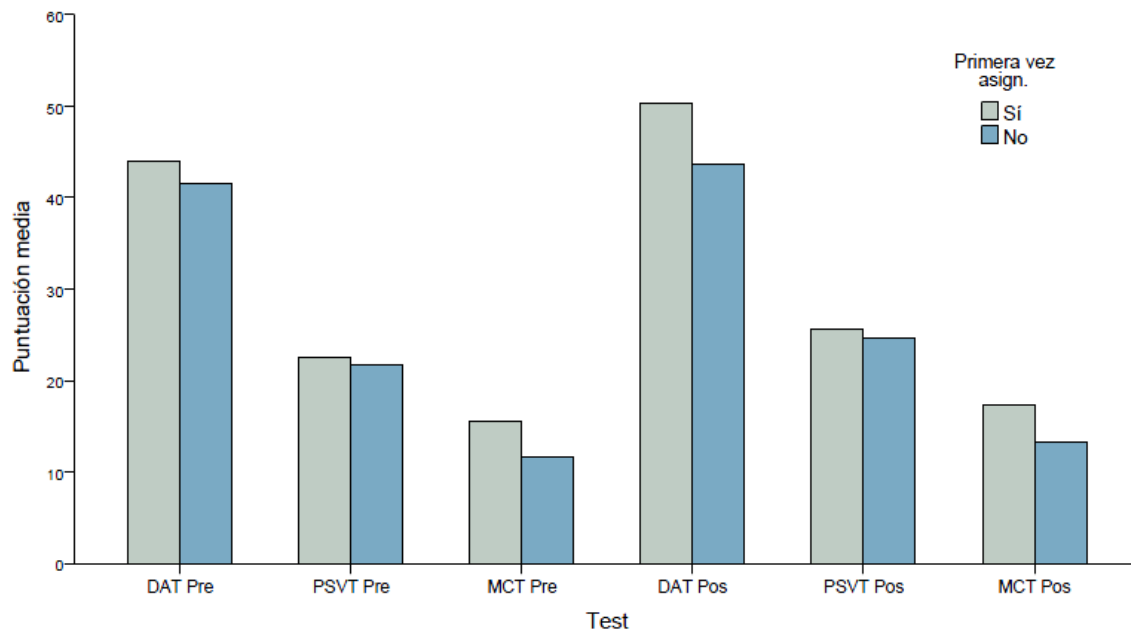


Fig. 70. Puntuaciones medias en las pruebas. Nuevo en asignatura

4.2.4 EXPERIENCIA EN CAD 3D

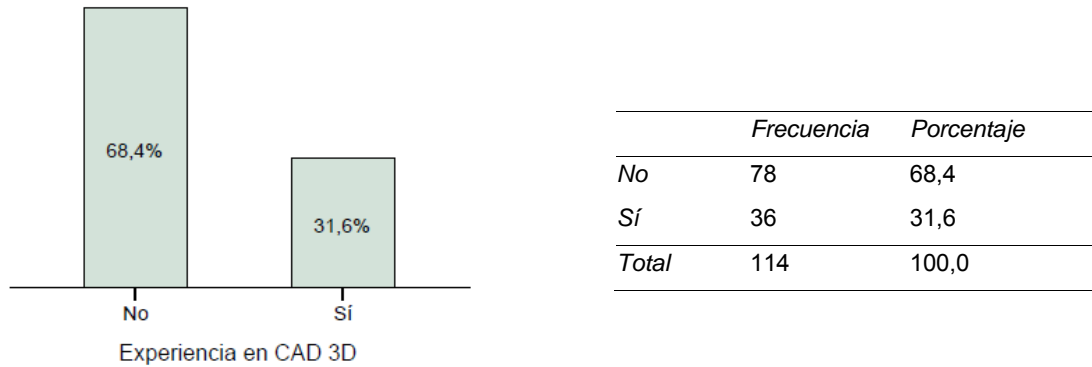


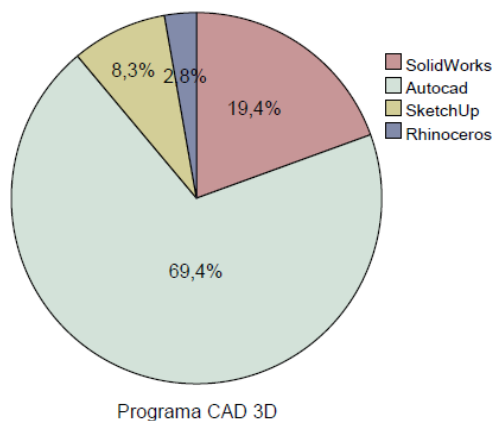
Fig. 71. Frecuencias. Experiencia en CAD 3D

Las correlaciones se han analizado con T de Student en las notas de la asignatura y con U de Mann-Whitney en los test porque no llegaba a 30 el número de alumnos con experiencia previa en CAD 3D. Sorprende que la única diferencia significativa sea en DAT-pre ($p < 0,05$), donde la media es a favor de los estudiantes que no tenían experiencia de CAD, posiblemente porque el otro grupo incluye repetidores. Aunque no significativas, las medias en las notas son algo superiores en los estudiantes con experiencia previa en CAD. Sin embargo, Torner (2009) encontró diferencias significativas a favor de los alumnos con experiencia en CAD en las pruebas DAT-SR y MRT.

Exp.CAD3D	Puntuaciones medias (SD)									
	DAT-Pre	PSVT-Pre	MCT-Pre	DAT-Pos	PSVT-Pos	MCT-Pos	Nota P1	Nota modelado	Nota P2	Nota Final
No	45,3 (9,3)	22,8 (4,7)	15,0 (4,5)	51,2 (7,3)	25,7 (3,3)	16,7 (5,3)	48,6 (24,2)	59,6 (29,0)	61,3 (27,2)	66,7 (17,0)
Sí	40,4 (9,5)	22,6 (4,6)	15,3 (4,6)	47,6 (8,6)	24,8 (3,4)	17,5 (4,0)	52,3 (19,7)	60,2 (24,0)	67,4 (27,4)	71,3 (14,4)
Correlación	P<0,05	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tab. 15. Puntuaciones medias y significancias. Experiencia en CAD 3D

AutoCAD era el programa más utilizado por los alumnos no repetidores.



	Frecuencia	Porcentaje
SolidWorks	7	19,4
Autocad	25	69,4
SketchUp	3	8,3
Rhinoceros	1	2,8
Total	36	100,0

Fig. 72. Programa más utilizado de CAD 3D

4.2.5 DIBUJO EN BACHILLERATO

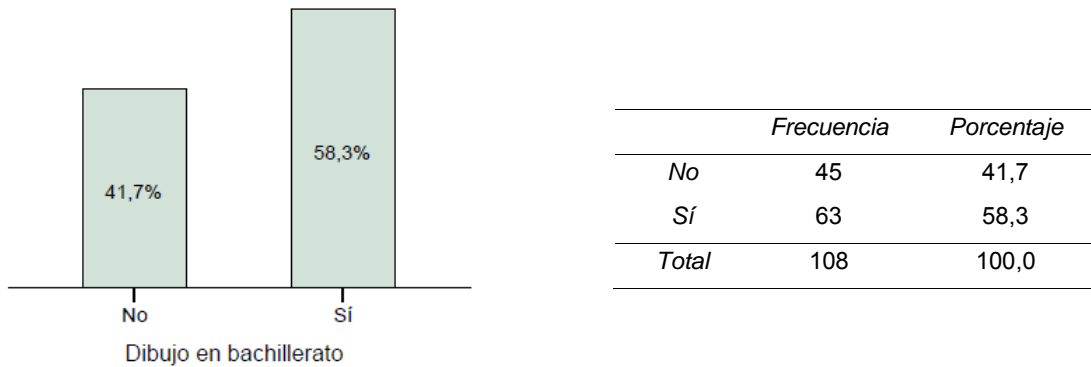


Fig. 73. Frecuencias. Ha cursado dibujo en bachillerato

Los alumnos que cursaron dibujo en bachillerato obtuvieron mejores resultados que los demás de media en los tres test aplicados y en las notas de la asignatura (Fig. 73). Podría achacarse a dos motivos. El primero; está demostrado que cursar asignaturas gráficas desarrolla las Habilidades Espaciales (Torner, 2009; Kovács y Németh, 2014; Marunic y Glazar, 2014). El segundo; a los alumnos con mejores habilidades espaciales, les resulta más fácil e interesante la materia. Por tanto, la escogen como asignatura optativa en bachillerato.

Puntuaciones medias (SD)										
Dib.Bach	DAT-Pre	PSVT-Pre	MCT-Pre	DAT-Pos	PSVT-Pos	MCT-Pos	Nota P1	Nota modelado	Nota P2	Nota Final
No	42,8 (9,8)	21,4 (4,5)	12,9 (3,9)	49,0 (9,0)	24,5 (3,1)	14,6 (5,0)	42,5 (22,4)	47,8 (28,6)	54,0 (27,1)	61,8 (16,0)
Sí	44,5 (9,4)	23,8 (4,5)	16,9 (4,1)	51,3 (6,4)	25,9 (3,3)	18,7 (4,1)	55,4 (21,9)	67,6 (24,3)	71,3 (24,8)	72,2 (15,6)
Correlación	x	p<0,05	P<0,001	x	x	P<0,01	P<0,01	P<0,01	P<0,01	P<0,01

Tab. 16. Puntuaciones medias y significancias. Ha cursado dibujo en bachillerato

Las correlaciones con las notas de la asignatura son todas significativas ($p<0,01$). También con las pruebas iniciales y finales de MCT ($p<0,01$). Sin embargo, con DAT-SR no hay correlación. Con PSVT:R únicamente en la prueba inicial ($p<0,05$)

La diferencia entre las medias de los dos grupos en MCT fue de un 16%. Quizás puede deducirse que la habilidad de cortar una pieza por un plano se desarrolla especialmente con la práctica. Tsutsumi y otros (2005) analizaron la influencia de la educación en geometría descriptiva en el proceso de resolución de problemas en MCT. Dedujeron que no sólo aumentaba la capacidad de reconocimiento espacial intuitivo, sino también alguna capacidad de pensamiento lógico, porque los grupos con experiencia en geometría descriptiva habían resuelto algunos de los problemas difíciles que requerían un proceso de juicio lógico.

Hay que considerar además que en dibujo de bachillerato se trabajan las secciones planas de figuras. Lógicamente esta práctica favorece el resultado en MCT. Veurink y otros (2009) estudiaron los resultados en MCT de alumnos de gráficos de ingeniería de diferentes universidades. Comprobaron que un grupo que había sido instruido en un módulo de secciones por planos (*Cutting Planes and Cross Sections*) obtenía mejores puntuaciones que otro grupo que no había cursado ese módulo.

Torner (2009) no encontró diferencias significativas entre los alumnos que habían cursado o no dibujo con anterioridad. Posiblemente porque empleó los test DAT-SR y MRT. Sin embargo, Pérez Carrión y otros (2002) detectaron diferencias significativas en la resolución de MRT. Mataix Sanjuán (2014) también detectó diferencias significativas en MRT y PSVT:R.

Para analizar la correlación se ha aplicado T de Student en todas las variables excepto en los test finales, donde se ha hecho la prueba U de Mann-Whitney

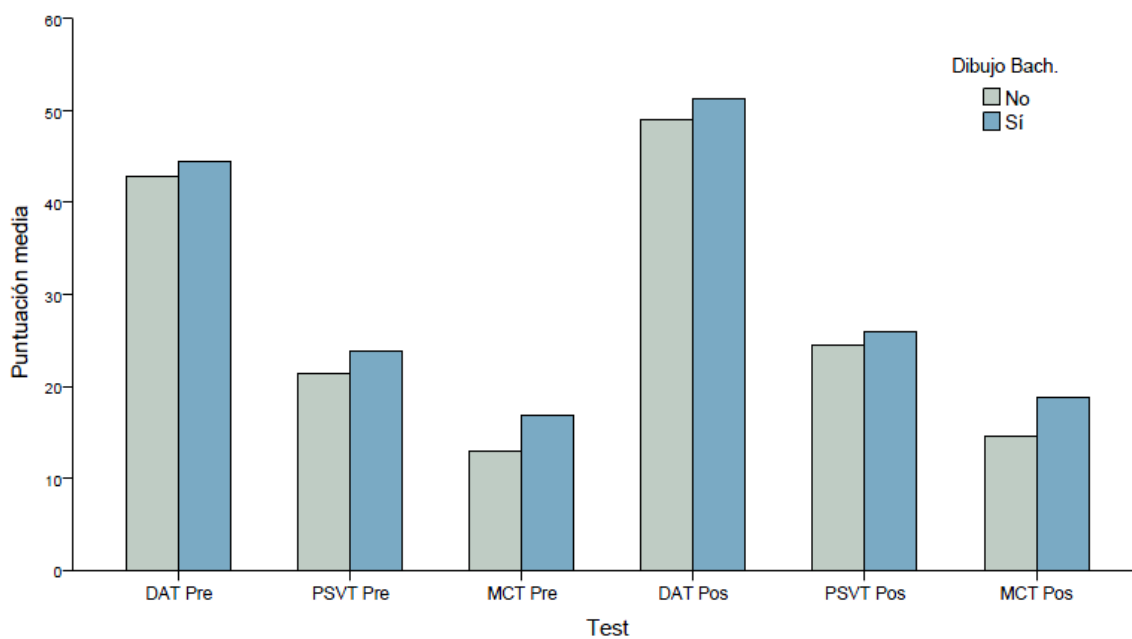


FIG. 74. Puntuaciones medias en las pruebas. Dibujo en bachillerato

4.2.6 NOTA MEDIA DE DIBUJO EN BACHILLERATO

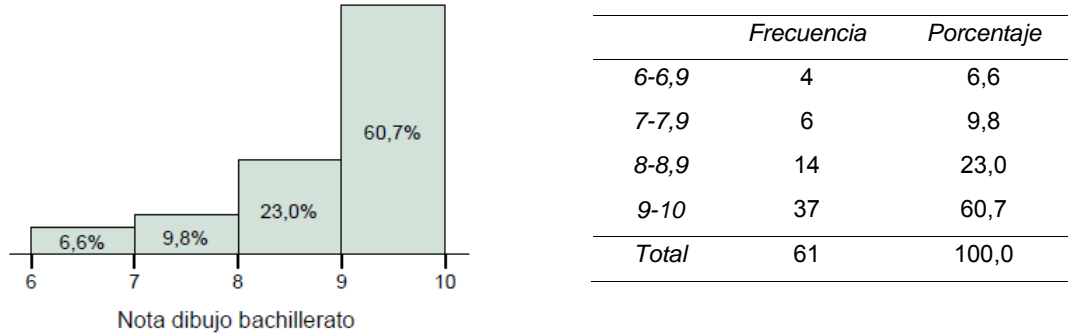


Fig. 75. Frecuencias. Nota media en dibujo de bachillerato

Puede observarse que la nota media en dibujo de bachillerato de los alumnos de los grupos participantes es bastante alta (8,8). Más del 60% de ellos tuvieron una nota superior a 9. Ya se ha mencionado que los alumnos matriculados en los grupos que hicieron los test, tenían un expediente académico superior a la media en la mayoría de los casos.

Los alumnos que habían sacado mejores notas en dibujo de bachillerato, obtuvieron mejores medias en puntuaciones de test y notas de la asignatura. Para estudiar la correlación se optó por agrupar todos los que obtuvieron una nota inferior a 8, debido al número reducido en frecuencias. La correlación es significativa en todas las pruebas iniciales, en MCT final y en todas las notas, excepto en modelado. Las correlaciones más importantes corresponden a MCT-*pre* ($r_s=0,46$, $p<0,01$), a MCT-*pos* ($r_s=0,40$, $p<0,01$) y a la nota correspondiente a geometría espacial: Nota P2 ($r_s=0,47$, $p<0,001$).

Puntuaciones medias (SD)										
Nota Dib.Bach	DAT-Pre	PSVT-Pre	MCT-Pre	DAT-Pos	PSVT-Pos	MCT-Pos	Nota P1	Nota model	Nota P2	Nota Final
<8	36,8 (10,0)	19,0 (6,2)	13,5 (4,3)	48,5 (6,2)	23,8 (4,5)	17,2 (5,4)	47,0 (26,7)	62,0 (33,5)	54,4 (24,7)	61,2 (15,5)
8-8,9	44,4 (6,2)	24,1 (2,7)	15,3 (3,0)	51,5 (5,5)	25,6 (1,9)	15,9 (4,0)	46,1 (20,9)	59,4 (23,2)	61,1 (24,5)	68,6 (14,2)
9-10	47,1 (9,1)	24,9 (3,9)	18,3 (3,9)	52,3 (6,6)	26,7 (3,3)	20,2 (3,0)	61,4 (19,8)	72,0 (21,8)	81,0 (19,7)	77,6 (12,6)
Corr.Spearman	0,310* P<0,05	0,347* P<0,05	0,455** P<0,01	0,196 x	0,315 x	0,399** P<0,01	0,304* P<0,05	0,175 x	0,467** P<0,001	0,414** P<0,01

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Tab. 17. Puntuaciones medias y significancias. Nota media de dibujo en bachillerato

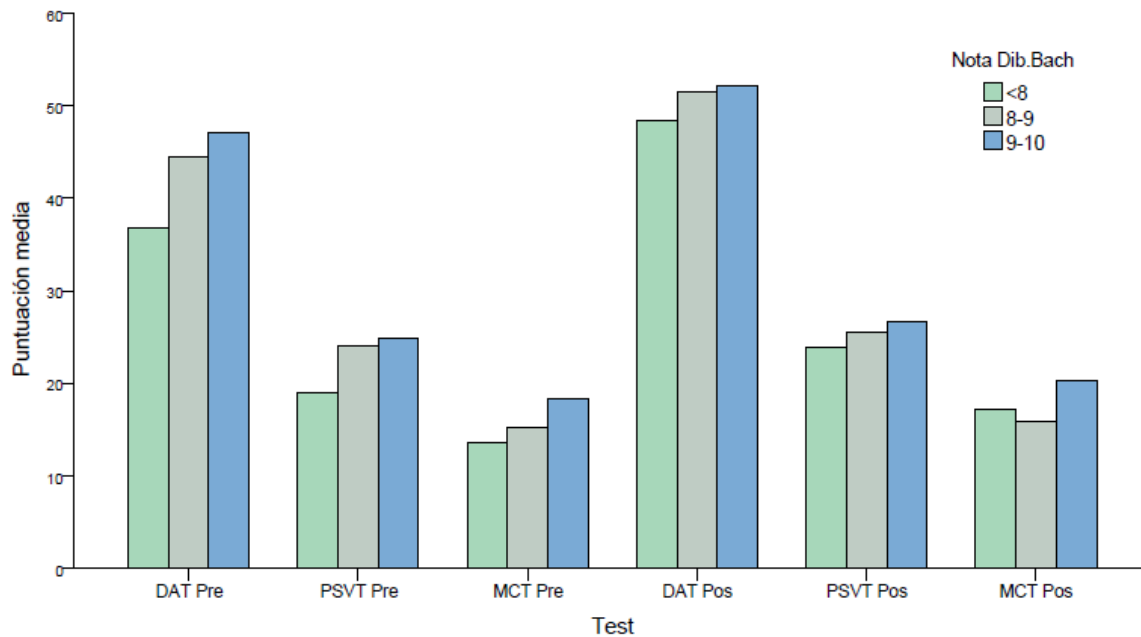
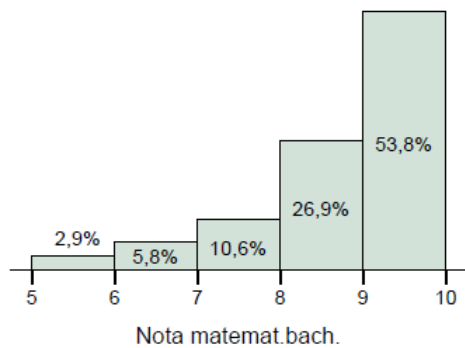


Fig. 76. Puntuaciones medias en las pruebas. Nota media de dibujo en bachillerato

4.2.7 NOTA MEDIA DE MATEMÁTICAS DE BACHILLERATO



	Frecuencia	Porcentaje
5-5,9	3	2,9
6-6,9	6	5,8
7-7,9	11	10,6
8-8,9	28	26,9
9-10	56	53,8
Total	104	100,0

Fig. 77. Frecuencias. Nota media de matemáticas de bachillerato

Como se observa en la Fig. 78, las medias obtenidas en las pruebas de habilidad espacial no parecen tener ninguna relación con la nota de matemáticas de bachillerato. Son todas muy similares. Se ha comprobado la falta de correlación con el coeficiente de Spearman. Este resultado difiere del informado por Sorby (2009), que observó una relación entre las habilidades espaciales y las habilidades matemáticas bien desarrolladas.

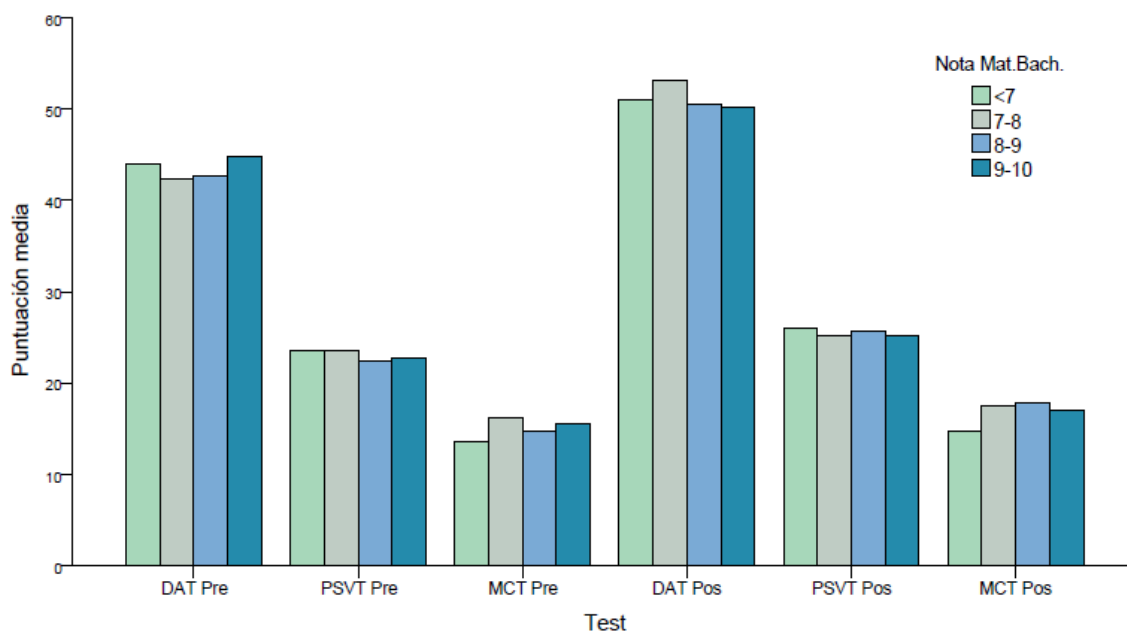
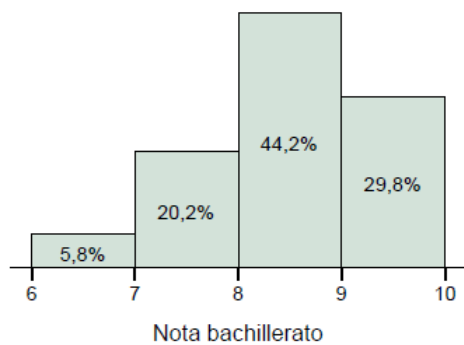


Fig. 78. . Puntuaciones medias en las pruebas. Nota media de Matemáticas en bachillerato

4.2.8 NOTA MEDIA DE BACHILLERATO

En la Fig. 80 puede observarse que el grupo de alumnos con una nota media en bachillerato inferior a 7 obtuvieron resultados inferiores en todos los test. Aunque hay que considerar que son muy pocos. Sorprende que en DAT-SR, la mejor puntuación media corresponde a los alumnos con una nota media de bachillerato entre 7 y 8: ($M=46,05$, $SD=10,51$), frente a la media total ($M=43,8$, $SD=9,6$)



	Frecuencia	Porcentaje	Nota Final
6-7	6	5,8	63,7 (14,1)
7-8	21	20,2	66,7 (19,0)
8-9	46	44,2	66,0 (15,6)
9-10	31	29,8	75,0 (13,1)
Total	104	100,0	

Fig. 79. Frecuencias. Nota media de bachillerato / Nota media

En las notas de la primera prueba de la asignatura (modelado más planos) y en la nota final existe una correlación leve con la nota media de bachillerato ($r_s=0,23$ y $r_s= 0,21$, ambos $p<0,05$). Es decir, los mejores estudiantes de bachillerato obtuvieron mejor nota final en la asignatura (tabla de Fig. 79)

Correlación Spearman										
Nota bachillerato	DAT-Pre	PSVT-Pre	MCT-Pre	DAT-Pos	PSVT-Pos	MCT-Pos	Nota P1	Nota modelado	Nota P2	Nota Final
Corr.	-,061	-,069	,020	-,162	,069	-,003	,231*	,155	,177	,214*
	x	x	x	x	x	x	P<0,05	x	x	P<0,05

Tab. 18. Correlaciones entre puntuaciones y nota media de bachillerato

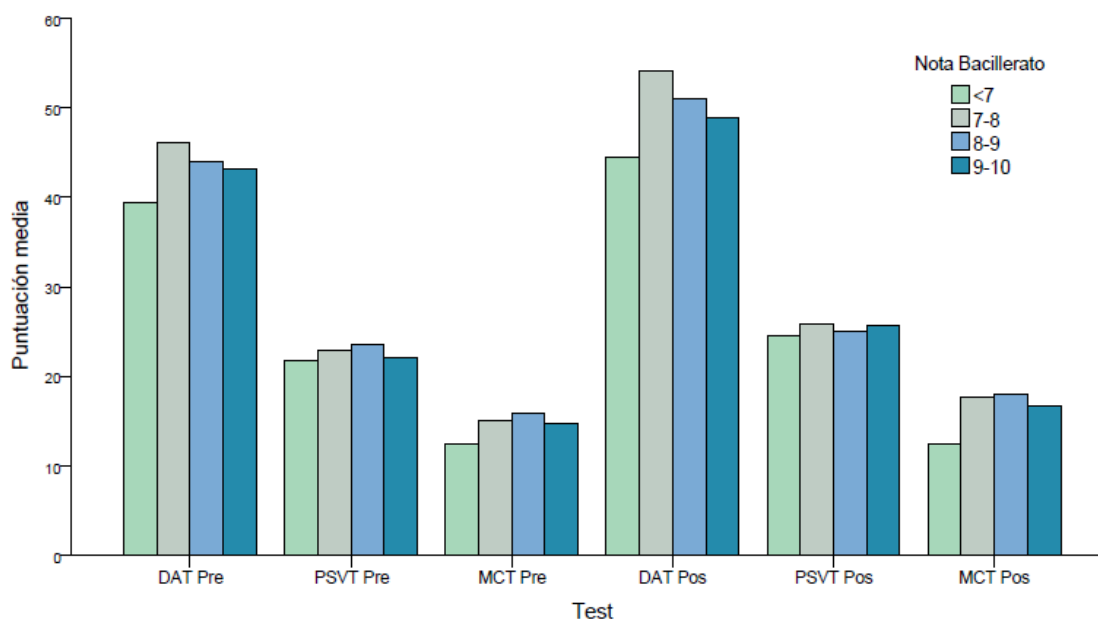


Fig. 80. Puntuaciones medias en las pruebas. Nota media en Bachillerato

4.2.9 NOTA DE LAS PAU'S (FASE GENERAL)

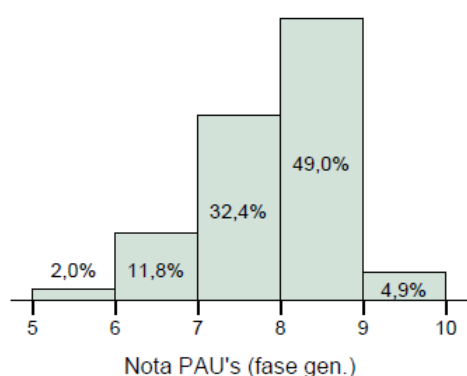


Fig. 81. Frecuencias. Nota de las PAU's (Fase general)

	Frecuencia	Porcentaje	Nota Final
5-6	2	2,0	27,0 (9,9)
6-7	12	11,8	63,2 (11,3)
7-8	33	32,4	67,3 (16,1)
8-9	50	49,0	71,7 (14,9)
9-10	5	4,9	74,8 (9,3)
Total	102	100,0	

Sorprende que el grupo con notas más altas en la fase general de las Pruebas de Acceso a la Universidad (PAU's), obtuvo las peores medias en los test iniciales. Aunque eran sólo cinco alumnos. Hay que considerar que en la fase general de selectividad las notas de lengua tienen una alta incidencia en el resultado. En los test finales, superaron al grupo que había sacado una nota inferior a 7 en la fase general de las PAU's.

Aplicando el coeficiente de correlación de Spearman, se ha obtenido una correlación leve entre las notas de PAU's y la nota final de la asignatura ($r_s=0,247$, $p<0,05$) (medias en tabla de Fig.

81). Parece evidente que esta relación está condicionada, entre otras cosas, por la capacidad de trabajo de los estudiantes.

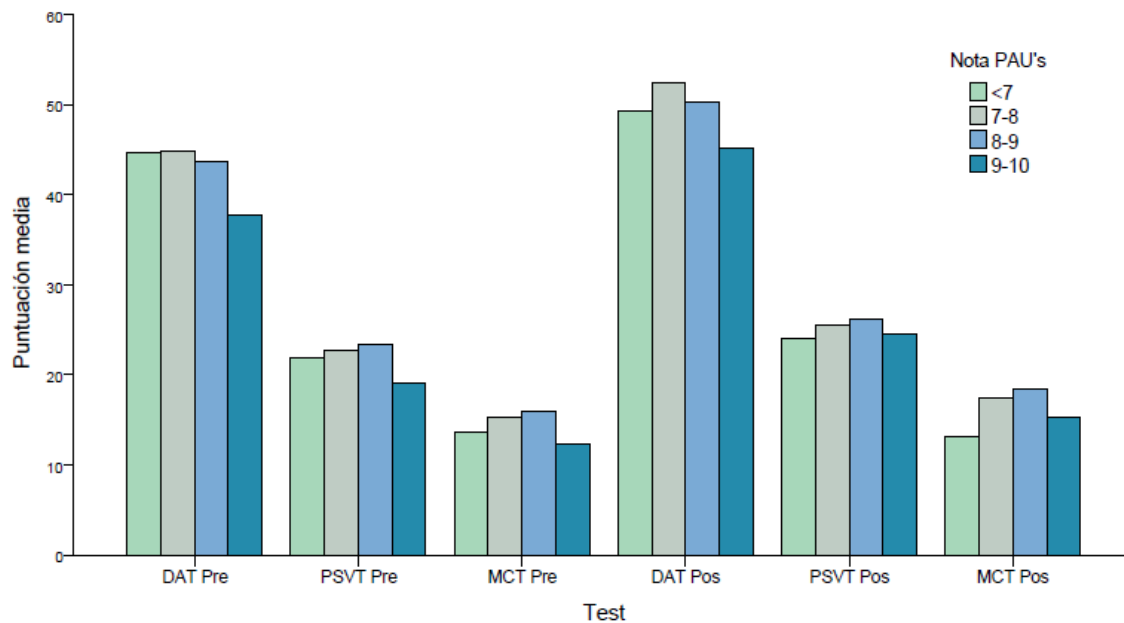


Fig. 82. Puntuaciones medias en las pruebas. Nota PAU's en fase general

4.2.10 TRABAJA MIENTRAS ESTUDIA

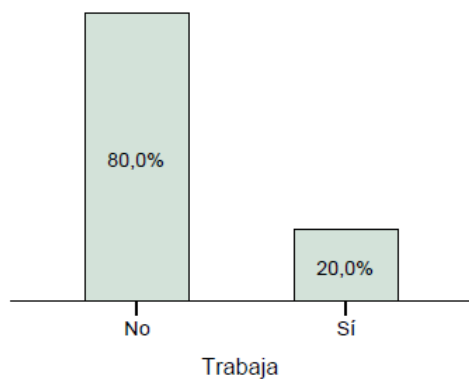


Fig. 83. Frecuencias: Trabaja y estudia

	Frecuencia	Porcentaje
No	84	80,0
Sí	21	20,0
Total	105	100,0

A pesar de que la mayoría de las medias son algo superiores en los alumnos que trabajan, no hay relación estadística significativa ni con las pruebas de habilidad espacial ni con las notas de la asignatura (Tab. 19).

Puntuaciones medias (SD)										
Trabaja	DAT-Pre	PSVT-Pre	MCT-Pre	DAT-Pos	PSVT-Pos	MCT-Pos	Nota P1	Nota modelado	Nota P2	Nota Final
No	44,0 (9,15)	22,8 (4,8)	15,0 (4,6)	50,3 (7,7)	25,1 (3,3)	16,9 (4,9)	52,5 (22,6)	62,1 (27,6)	65,4 (25,2)	69,3 (15,1)
Sí	43,1 (11,3)	22,8 (4,3)	16,1 (4,0)	51,5 (6,3)	27,1 (2,9)	19,1 (4,2)	42,6 (22,4)	50,9 (27,1)	61,5 (33,4)	64,3 (20,6)
Correlación	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tab. 19. Puntuaciones medias y significancias. Trabaja y estudia

4.2.11 Considera su capacidad de visión espacial

En la encuesta de variables que contestaron los alumnos a principio de curso, (sin haber realizado ningún test) se preguntó también: ¿Consideras que tienen buena capacidad de visión espacial? El 34,6% de los alumnos contestó que no.

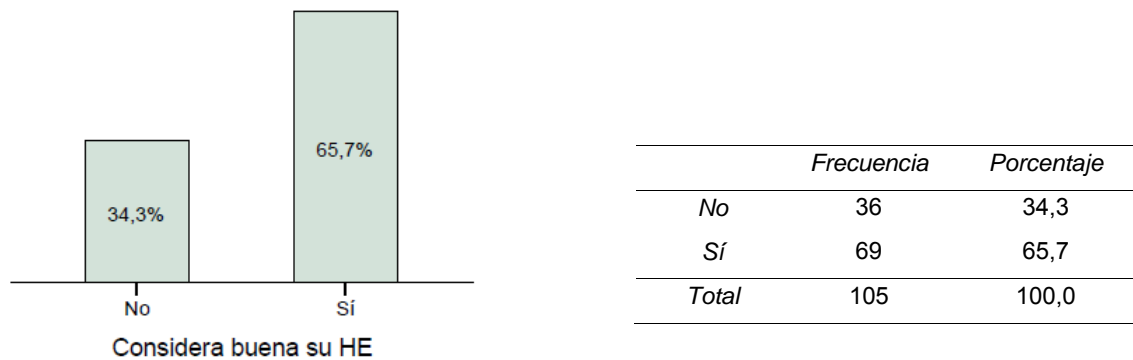


Fig. 84. Frecuencias. Considera buena su Habilidad Espacial

Los resultados en todos los test iniciales y finales tuvieron relación estadísticamente significativa con la apreciación personal sobre las propias Habilidades Espaciales al comienzo de curso. Las mayores significancias ($p < 0,001$) corresponden a MCT *pre* y *pos* (diferencias de medias: 16%) y en DAT *pre* (12%).

Sin embargo, no existe relación estadística con las notas del curso, a pesar de que las medias son superiores en todos los casos en los alumnos que consideran tener una buena habilidad espacial.

Las correlaciones se han estudiado con la prueba T de Student para muestras independientes, excepto en los test-*pos* (U de Mann Whitney)

<i>Puntuaciones medias (SD)</i>										
<i>HE buena</i>	<i>DAT-Pre</i>	<i>PSVT-Pre</i>	<i>MCT-Pre</i>	<i>DAT-Pos</i>	<i>PSVT-Pos</i>	<i>MCT-Pos</i>	<i>Nota P1</i>	<i>Nota model</i>	<i>Nota P2</i>	<i>Nota Final</i>
No	38,9 (9,3)	21,0 (5,0)	12,5 (3,5)	46,6 (9,0)	23,1 (3,8)	14,1 (5,1)	46,2 (24,1)	54,4 (28,1)	58,7 (25,8)	65,1 (17,4)
Si	46,3 (8,7)	23,7 (4,3)	16,6 (4,4)	52,7 (5,4)	26,5 (2,5)	19,0 (3,7)	52,8 (22,0)	62,7 (27,3)	67,7 (27,2)	69,9 (15,7)
<i>Correlaci</i>	<0,001	<0,05	<0,001	<0,01	<0,01	<0,001	x	x	x	x

Tab. 20. Puntuaciones medias y significancias. Considera buena su capacidad de visión espacial

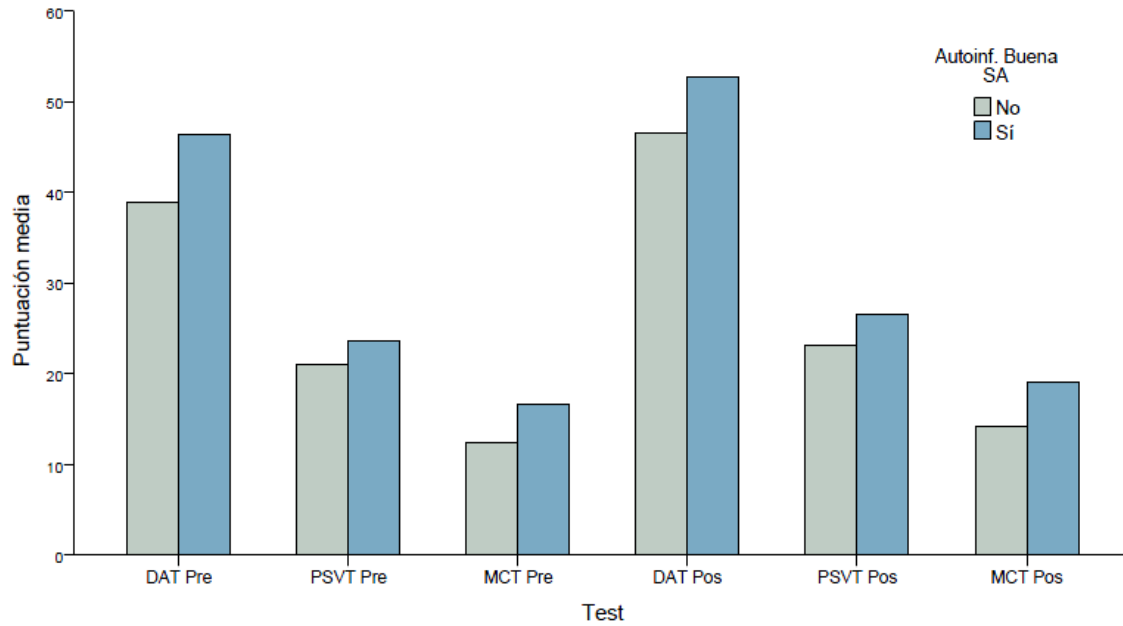
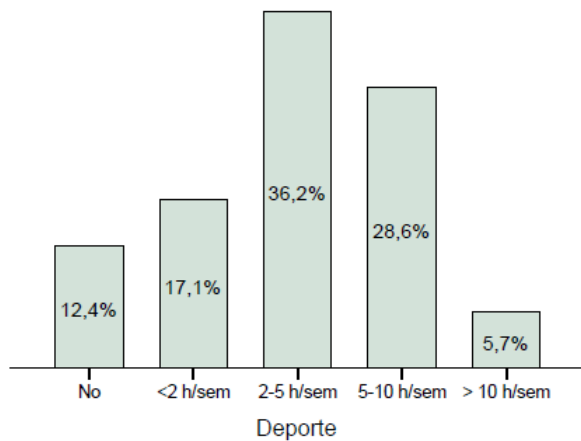


Fig. 85. Puntuaciones medias en las pruebas. Considera buena su capacidad de visión espacial

4.2.12 PRÁCTICA HABITUAL DE DEPORTE



	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
No	13	12,4
<2 h/sem	18	17,1
2-5 h/sem	38	36,2
5-10 h/sem	30	28,6
> 10 h/sem	6	5,7
Total	105	100,0

Fig. 86. Frecuencias. Práctica habitual de deporte

No existe ninguna relación estadística entre el hecho de realizar más o menos deporte y las puntuaciones en las pruebas de habilidad espacial, ni con las notas de la asignatura. Los alumnos que practicaban deporte más de 5h/semana mejoraron en MCT mucho más que los que hacían menos de 2h/semana de deporte ($M=11,81\%$, $SD=12,23$ frente a $6,22\%$, $SD=8,91$) aunque la diferencia no es significativa. Sin embargo, los datos de Torner (2009) mostraron que los estudiantes que practicaban deporte ganaron bastante más que los que no lo hacían en DAT.

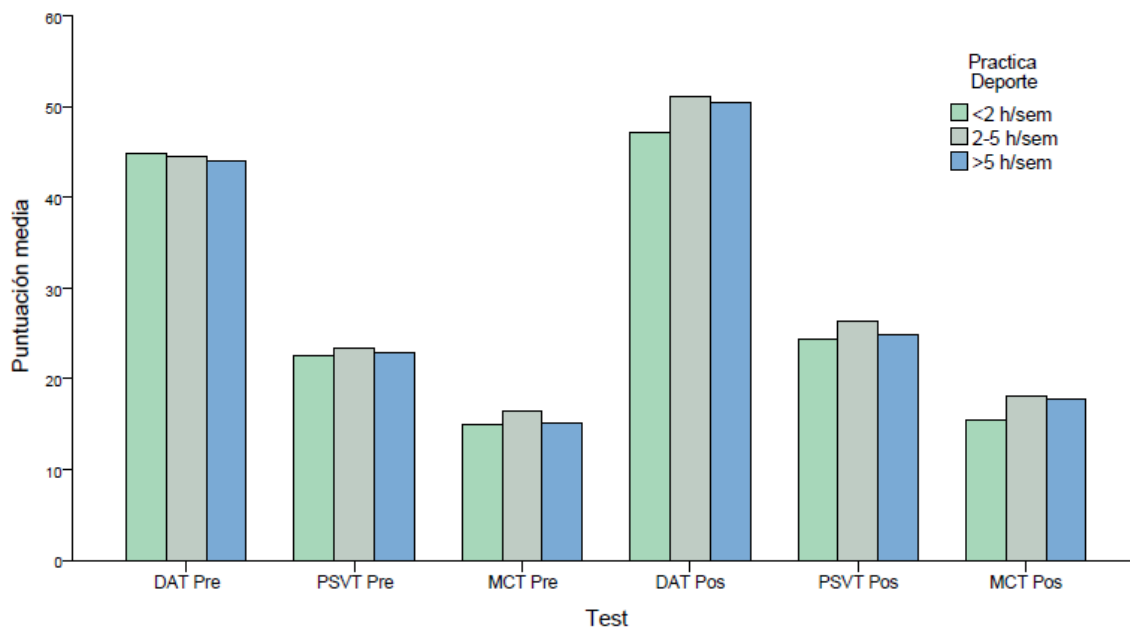


Fig. 87. Puntuaciones medias en las pruebas. Práctica habitual deportiva

	Frecuencia	Porcentaje
Fútbol	19	21,3
Basquet	9	10,1
Handball	2	2,2
Tenis	5	5,6
Natación	2	2,2
Fitness	13	14,6
Otros	39	43,8
Total	89	100,0

Tab. 21. Deporte más habitual

Se preguntó también a los alumnos qué deporte practicaban más. Más de una tercera parte contestaron *otros*. Por un error cometido al generar el formulario, no se podía especificar cuál era el deporte en cuestión. Por tanto, no se ha considerado este apartado para fines estadísticos.

4.2.13 USO HABITUAL DE VIDEOJUEGOS

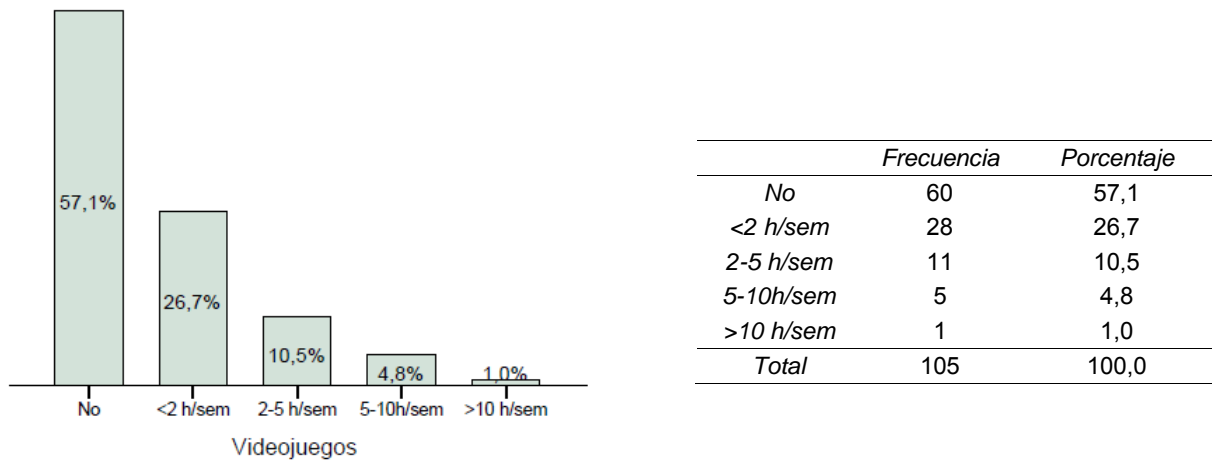


Fig. 88. Frecuencias. Uso habitual de videojuegos

Los resultados parecen indicar que jugar a videojuegos desarrolla las Habilidades espaciales. Varios estudios han demostrado que desarrolla la rotación mental (De Lisi y Wolford, 2002; Feng y otros, 2007; Terlecki y Newcombe, 2005), la atención visual (Green y Bavelier, 2003), la habilidad en plegado mental (Dorval y Pepin, 1986). Muchas tareas espaciales requieren memoria de trabajo y los jugadores de videojuegos la desarrollan; pueden contener un mayor número de elementos en la memoria de trabajo y actuar sobre ellos (Uttal y otros, 2013). Pero también hay que considerar que las personas con mejores habilidades espaciales tienen, posiblemente, mayor tendencia a jugar con videojuegos.

La diferencia es estadísticamente significativa en todos los test, excepto en DAT-*pos*. La mayor correlación se encuentra en MCT-*pos* ($r_s=0,45, p<0,001$). No hay correlación entre jugar con videojuegos y las notas de la asignatura. Ni con las ganancias entre test iniciales y los test finales.

Puntuaciones Medias (SD)										
	DAT- Pre	PSVT- Pre	MCT- Pre	DAT- Pos	PSVT- Pos	MCT- Pos	Nota P1	Nota modelado	Nota P2	Nota Final
No juega	42,1 (9,3)	21,8 (4,8)	13,9 (4,4)	49,4 (8,2)	24,7 (3,3)	15,7 (4,9)	50,3 (21,7)	56,5 (25,3)	62,1 (27,6)	67,2 (17,4)
<2h/sem	46,3 (9,7)	23,5 (4,1)	16,0 (4,1)	51,7 (5,6)	26,1 (3,2)	18,6 (4,1)	52,8 (23,3)	66,9 (27,7)	68,2 (23,7)	69,4 (15,1)
>2h/sem	46,1 (9,4)	26,3 (3,6)	18,8 (3,7)	53,4 (6,7)	27,3 (2,6)	21,6 (2,3)	47,5 (26,7)	58,3 (35,8)	67,6 (30,0)	70,1 (15,1)
Corr.	0,208*	0,307**	0,364**	0,172	0,323*	0,445**	-0,024	0,134	0,093	0,063
Spearman	P<0,05	P<0,01	P<0,001	x	P<0,05	P<0,001	x	x	x	x

Tab. 22. Puntuaciones medias y significancias. Uso habitual de videojuegos

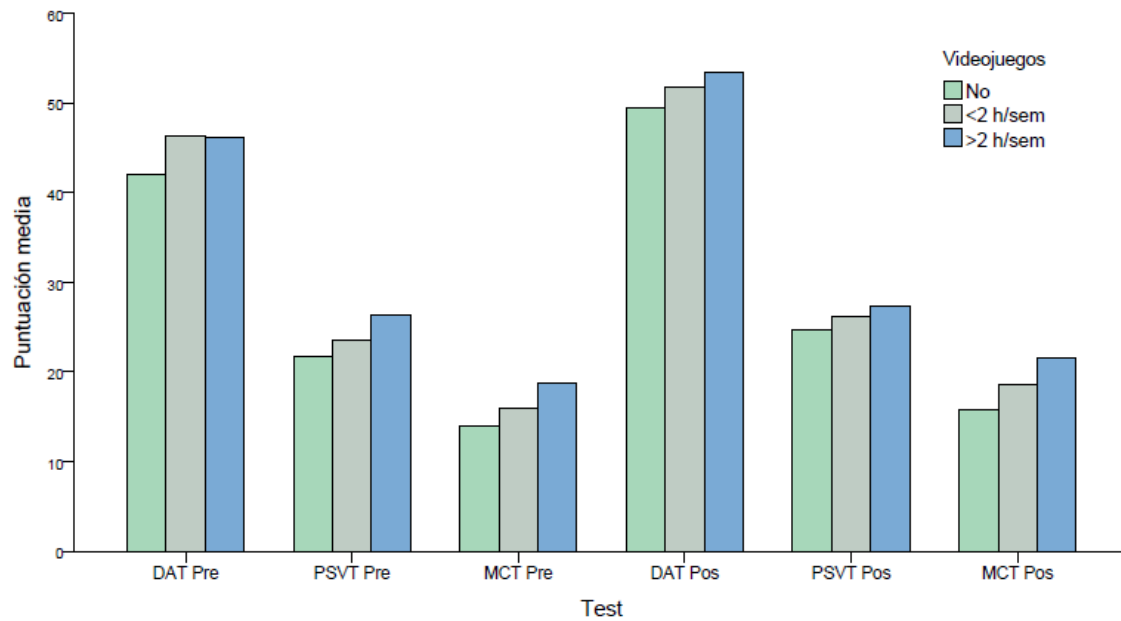
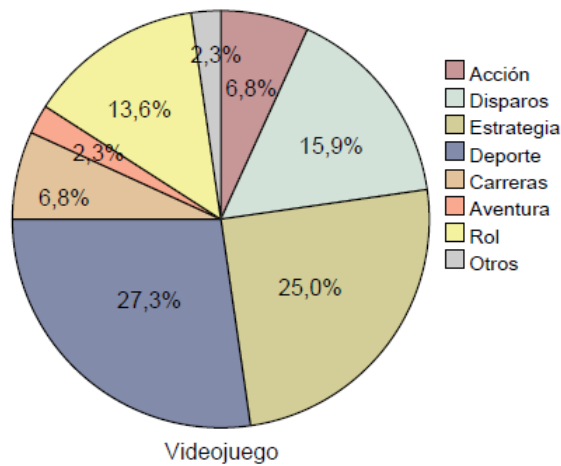


Fig. 89. Puntuaciones medias en las pruebas. Uso habitual de videojuegos

TIPO DE VIDEOJUEGO HABITUAL



	Frecuencia	Porcentaje
Acción	3	6,8
Disparos	7	15,9
Estrategia	11	25,0
Deporte	12	27,3
Carreras	3	6,8
Aventura	1	2,3
Rol	6	13,6
Otros	1	2,3
Total	44	100,0

Fig. 90. Frecuencias. Tipo de videojuego habitual

La muestra es reducida para sacar conclusiones significativas. Pero parece que en general, las medias más altas de puntuaciones en las pruebas de habilidad espacial, corresponden a jugadores de estrategia y de rol.

4.2.14 LATERALIDAD

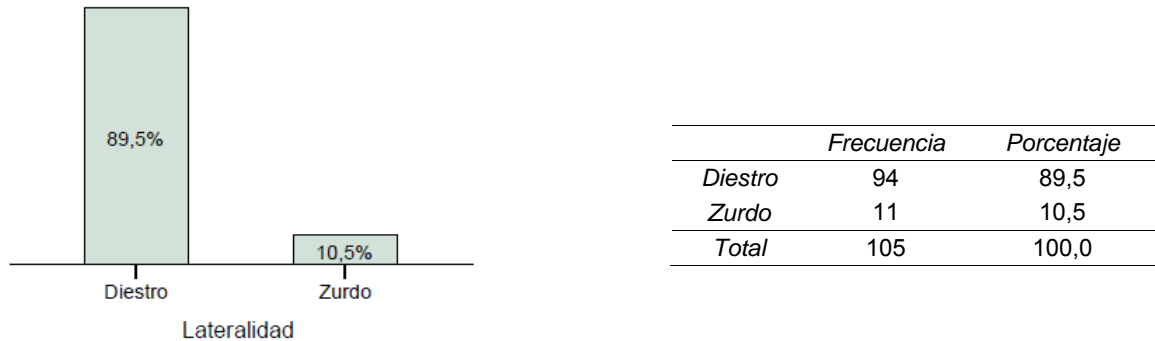


Fig. 91. Frecuencias. Lateralidad

Las medias son más bajas para los zurdos en todas las pruebas de habilidad espacial y en las notas de la asignatura. Existe diferencia estadísticamente significativa en DAT y MCT, pero sólo al inicio de curso. Hay diferencias también en todas las notas de la asignatura, excepto en modelado.

Sin embargo, los zurdos obtuvieron mayores ganancias entre los test pre y pos, únicamente significativas en DAT, igualando prácticamente las puntuaciones en DAT-pos de los diestros.

Puntuaciones Medias (SD)										
Lateral.	DAT-Pre	PSVT-Pre	MCT-Pre	DAT-Pos	PSVT-Pos	MCT-Pos	Nota P1	Nota modelado	Nota P2	Nota Final
Diestro	44,7 (9,7)	22,9 (4,7)	15,6 (4,4)	50,6 (7,6)	25,6 (3,2)	17,6 (4,7)	52,4 (22,1)	61,7 (26,9)	67,3 (26,0)	69,2 (16,6)
Zurdo	36,8 (4,9)	21,9 (4,8)	11,7 (4,4)	49,3 (6,7)	23,5 (4,0)	13,7 (5,3)	34,5 (23,2)	43,8 (30,9)	42,7 (25,0)	59,6 (11,4)
Correlación	P<0,01	x	P<0,05	x	x	x	P<0,05	x	P<0,01	P<0,05

Tab. 23. Puntuaciones medias y significancia. Lateralidad

Las correlaciones se han obtenido con la prueba U de Mann Whitney

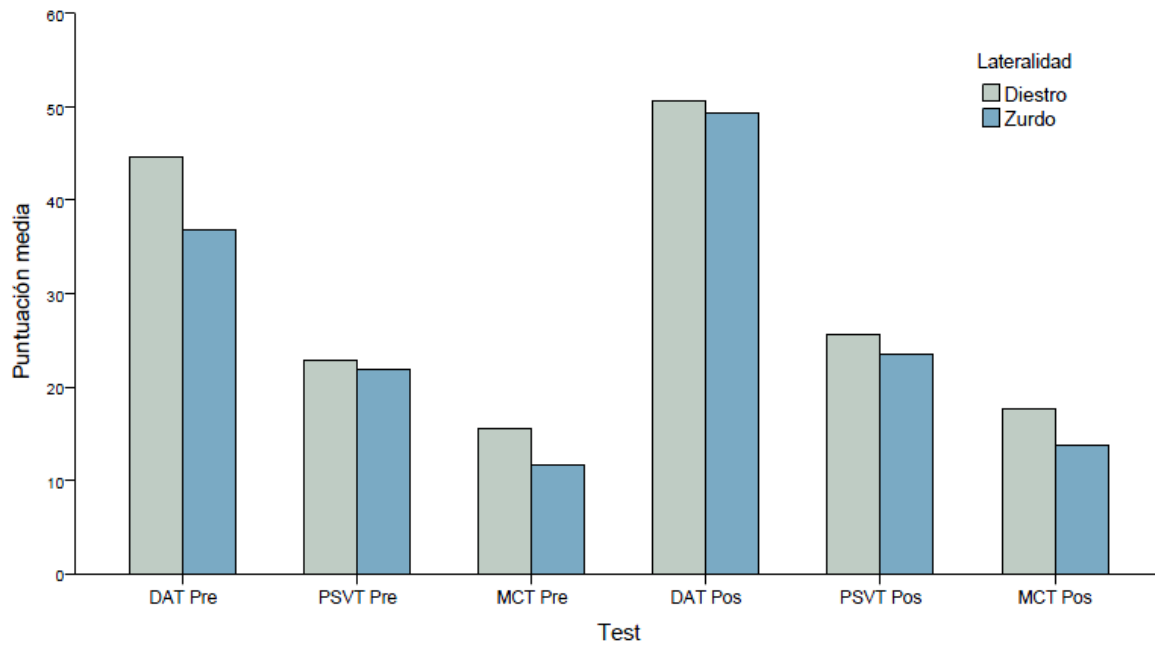


Fig. 92. Puntuaciones medias en las pruebas. Lateralidad

4.2.15 JUEGOS DE CONSTRUCCIÓN EN INFANCIA

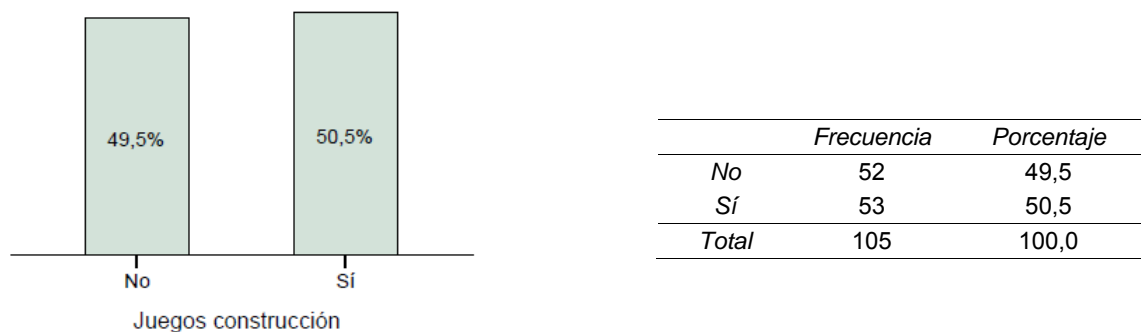


Fig. 93. Frecuencias. Juegos de construcción en infancia

Los estudiantes que de niños jugaban habitualmente con juegos de construcción obtuvieron mejores medias en todos los test y notas. Otros autores han informado sobre esta relación. Por ejemplo, Sorby (2009). Los juegos de construcción desarrollan las habilidades espaciales porque implican manipulación de objetos y control de relaciones espaciales entre ellos.

La diferencia es significativa en DAT-*pre* ($p < 0,01$), MCT-*pre* ($p < 0,05$) y en PSVT-*pos* ($p < 0,05$). También en la primera prueba de evaluación de la asignatura de modelado y planos ($p < 0,05$) y en la nota final ($p < 0,05$).

La ganancia de puntuación en DAT de inicio a final de curso fue superior en aquellos que no jugaban con juegos de construcción ($p < 0,01$). Obtuvieron de media un 13,9% frente a los demás (7,3%), resultado relacionado con las peores puntuaciones iniciales.

<i>Puntuaciones Medias (SD)</i>										
<i>Juegos construcc</i>	<i>DAT-Pre</i>	<i>PSVT-Pre</i>	<i>MCT-Pre</i>	<i>DAT-Pos</i>	<i>PSVT-Pos</i>	<i>MCT-Pos</i>	<i>Nota P1</i>	<i>Nota modelado</i>	<i>Nota P2</i>	<i>Nota Final</i>
<i>No</i>	41,3 (8,7)	22,2 (4,8)	14,2 (4,4)	49,7 (7,6)	24,5 (3,3)	16,3 (5,3)	46,5 (21,3)	55,4 (27,5)	59,8 (27,2)	64,7 (16,0)
<i>Si</i>	46,4 (9,8)	23,33 (4,5)	16,2 (4,4)	51,3 (7,3)	26,2 (3,2)	18,0 (4,2)	54,6 (23,8)	64,0 (27,5)	69,5 (26,0)	71,8 (16,1)
<i>Correlación</i>	$P < 0,01$	x	$P < 0,05$	x	$P < 0,05$	x	$P < 0,05$	x	x	$P < 0,05$

Tab. 24. Puntuaciones medias y significancias. Juegos de construcción en infancia

Todas las correlaciones se han obtenido con la prueba T de Student, excepto PSVT pos y Gain PSVT, porque uno de los grupos no llegaba a 30.

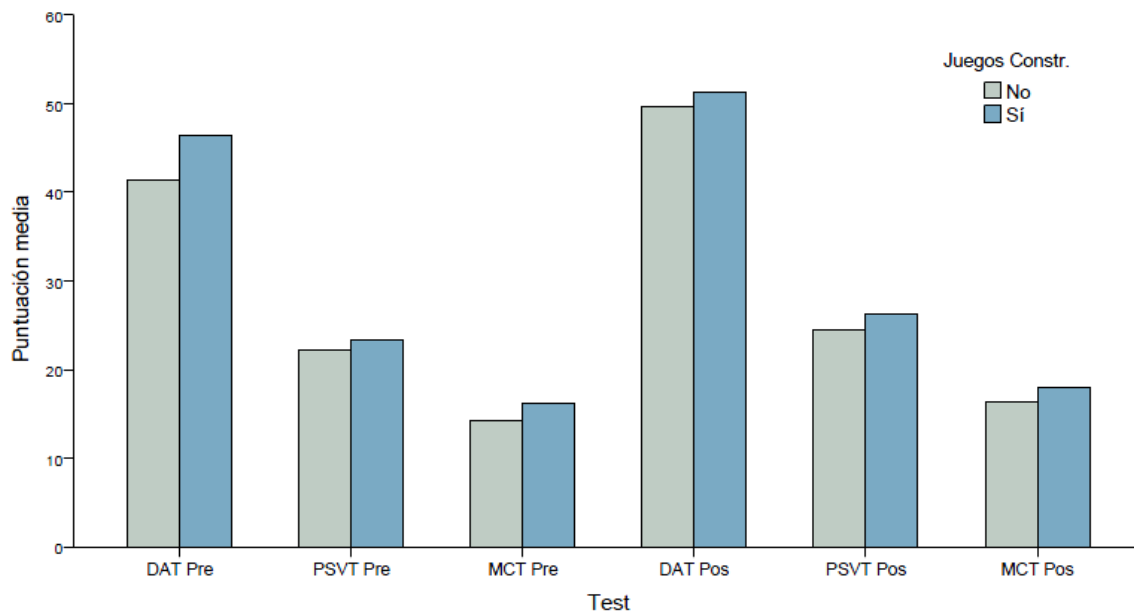
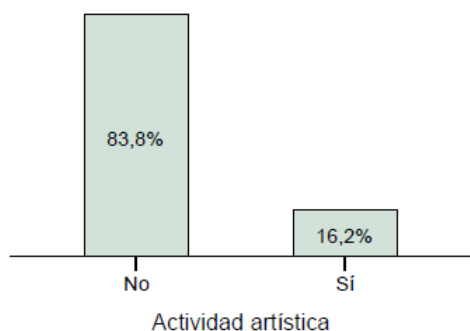


Fig. 94. Puntuaciones medias en las pruebas. Uso habitual de juegos de construcción en infancia

4.2.16 OTRAS

ACTIVIDAD ARTÍSTICA

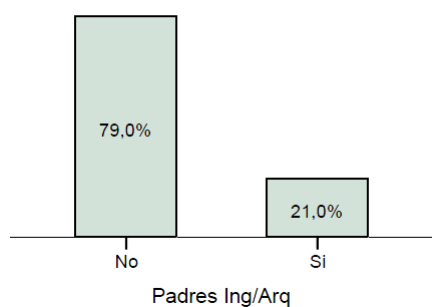


	Frecuencia	Porcentaje
No	88	83,8
Sí	17	16,2
Total	105	100,0

Fig. 95. Realiza alguna actividad artística

Las medias de los alumnos que realizan alguna actividad artística son muy similares a los que no lo hacen. No se ha encontrado ninguna relación significativa.

PADRES INGENIEROS O ARQUITECTOS



	Frecuencia	Porcentaje
No	83	79,0
Sí	22	21,0
Total	105	100,0

Fig. 96. Padres ingenieros o arquitectos

No parece haber ninguna relación entre las habilidades espaciales y tener ascendientes familiares relacionados con la ingeniería o arquitectura

DISLEXIA: Únicamente dos alumnos eran disléxicos.

4.3 ESTRATEGIAS EN LA RESOLUCIÓN DE DAT-SR, PSVT:R Y MCT

La mayoría de los estudios sobre herramientas que desarrollan las habilidades espaciales se basan en medirla antes y después de realizar la actividad programada para desarrollarla. Si la validez la evalúan esas pruebas, es importante (además de elegir la prueba adecuada para evaluarla) conocer las estrategias aplicadas en su resolución. El conocimiento de cuáles son más óptimas, puede ayudar a programar secuencias didácticas que fomenten su uso y, con ello, favorecer el desarrollo de la capacidad espacial.

Se han analizado las estrategias aplicadas en la resolución de los test DAT-SR, PSVT:R y MCT. Los resultados indican que una estrategia flexible es más óptima que una estrategia concreta; las personas con buenas habilidades espaciales, aplican con facilidad estrategias espaciales holísticas y son capaces de emplear estrategias analíticas cuando la tarea lo requiere. No se han detectado diferencias significativas de estrategias aplicadas por hombres y mujeres. Se ha comprobado que el estudio de geometría es fundamental para desarrollar el razonamiento espacial y ha ayudado a proponer criterios para enfocar actividades.

La metodología empleada se ha explicado en el capítulo anterior. En la Tab. 25 se reflejan las medias que obtuvieron en los test iniciales los alumnos entrevistados, y se comparan con el total de alumnos testeados.

	Entrevistados DAT-SR Pre			Total alumnos DAT-SR pre		
	Total n=34	Hombres n=23	Mujeres n=11	Total n=101	Hombres n=72	Mujeres n=29
Media	46,44	47,57	44,09	43,82	44,46	42,24
Aciertos	(77,40%)	(79,28%)	(73,48%)	(73,03%)	(74,10%)	(70,40%)
SD	9,61	9,62	9,6	9,56	9,86	8,72
	Entrevistados PSVT:R pre			Total alumnos PSVT:R pre		
	Total n=34	Hombres n=24	Mujeres n=10	Total n=99	Hombres n=73	Mujeres n=29
Media	23,74	24,71	21,40	22,54	23,03	21,15
Aciertos	(79,1%)	(82,4%)	(71,3%)	(75,13%)	(76,77%)	(70,50%)
SD	4,44	3,87	5,04	4,78	4,87	4,31
	Entrevistados MCT pre			Total alumnos MCT pre		
	Total n=35	Hombres n=24	Mujeres n=11	Total n=105	Hombres n=77	Mujeres n=28
Media	15,11	16,00	13,18	15,25	15,95	13,32
Aciertos	(60,4%)	(64,0%)	(52,7%)	(61,00%)	(63,80%)	(53,28%)
SD	4,9	4,69	5,02	4,45	4,31	4,32

Tab. 25. Puntuaciones medias en las pruebas de entrevistados y total de testeados

El análisis de los resultados se ha clasificado en: estrategias de visualización y comparación, dificultades en la resolución de los test, estrategias generales en la resolución de test (verbal,

gestual, elección, orden, revisión y tiempo), relación con variables demográficas y auto-informe de dificultad

En general, los participantes que obtuvieron buenos resultados en las pruebas de habilidad espacial, explicaban mejor el proceso que seguían para resolverlas y los problemas que les surgían.

En las tablas constan los coeficientes de correlación de Spearman. Se han reflejado como indicadores. Las significancias de las correlaciones se han comprobado todas con el test de U-Mann Whitney.

4.3.1 ESTRATEGIAS DE VISUALIZACIÓN Y COMPARACIÓN

Las estrategias se han categorizado en tres tipos:

- Estrategia *espacial holística*
- Estrategia *analítica*
- Estrategia analítica espacial.

Se ha seguido el criterio de Hegarty (2010) (*Imagery strategy*, *pure analytic strategy* and *spatial analytic strategy*) por considerar que se adapta mejor que otras clasificaciones a las pruebas espaciales realizadas. (Ver apartado de revisión bibliográfica, pág. 81)

A pesar de que no se han obtenido correlaciones significativas claras, los resultados parecen confirmar que una estrategia flexible es más óptima que una estrategia concreta. El alumno que tiene facilidad para emplear una estrategia espacial holística es capaz, cuando la dificultad lo requiere, de utilizar una estrategia analítica (Kyllonen y otros, 1984; Linn y Petersen, 1985; Hegarty, 2010; Strasser y otros, 2010). Los alumnos con menos recursos espaciales optan por aplicar estrategias más analíticas, que en general requieren más tiempo y, por tanto, resultan menos eficientes.

Estrategias en DAT-SR

Prácticamente todos los alumnos resolvían los ejercicios imaginando que montaban la figura a partir del desarrollo (Tab. 26). Únicamente dos alumnos empezaban al revés: desde las soluciones, desplegando las figuras. Todos los entrevistados, excepto uno con mal resultado, utilizaban además estrategias analíticas, comparando caras contiguas o fijándose en una cara tramada o particular, sin necesidad de montar toda la figura.

No se aprecian correlaciones significativas entre estrategias aplicadas y resultado del test. Más de la mitad de los alumnos cambiaban de estrategia en función de la figura, empleando

estrategias espaciales holísticas y analíticas. Obtuvieron un resultado superior ($M=48,3$, $SD=8,80$) a los que siempre utilizaban la estrategia analítica de comparar caras contiguas o fijarse en una singular ($M=45,7$, $SD=9,26$), a pesar de que no hay una correlación clara. Parece ser, como observaron Cochran y Wheatley (1989), que en este test se utilizan estrategias holísticas más frecuentemente en los ítems más fáciles. Alumnos con muy buenos resultados comentaban: *“le voy cogiendo el truco y cambio de estrategia”* o *“miro todo el pack a la vez (enunciado y soluciones) y voy descartando”*. La rutina en un tipo de ejercicio conduce también a aplicar estrategias más analíticas (Hegarty, 2010).

Estrategias DAT–SR		N (36)	DAT-SR Pre	
			Promedio (SD)	Coef. correl
Inicial				
Espacial holística	Doblo el desarrollo del modelo y veo cómo queda la figura	34	46,8 (78,0%) (9,60)	0,14
Espacial holística	Empiezo desde las soluciones: despliego la figura y veo cómo queda el desarrollo	2	41,0 (68,3%) (11,31)	-0,14
Comparación				
Espacial holística	Comparo toda la figura del modelo con las soluciones	1	25 (41,7%) -	-0,39
Analítica	Comparo dos caras contiguas o más del modelo con las soluciones o me fijo en una cara singular	15	45,7 (76,1%) (9,26)	-0,07
Analítica espacial	Dependiendo de la figura cambio de estrategia	20	48,3 (80,5%) (8,80)	0,21

Tab. 26. Estrategias en la resolución de DAT-SR

Estrategias en PSVT:R

Harris y otros (2013) estudiaron las diferencias y similitudes entre tareas de rotación mental y plegado mental desde varias perspectivas. Encontraron grandes afinidades en varios ámbitos a pesar de que la psicometría siempre ha considerado que son habilidades diferentes. La gran diferencia es que la rotación mental es una transformación rígida y el plegado mental es una transformación no rígida. Aunque los resultados del apartado anterior sugieren que muchos de los ítems de DAT-SR se solucionan sin realizar un proceso de plegado. O en todo caso, sólo de una cara.

Varios de los estudios anteriores sobre estrategias en tareas de rotación mental se han basado en el test MRT. Geiser y otros (2006) observaron que algunos ítems de MRT no podían resolverse de forma analítica. En esta investigación se ha usado PSVT:R, que según Maeda y

Yoon (2013) es el test de visualización espacial de rotación mental que más incorpora el pensamiento espacial holístico y menos incorpora el proceso de pensamiento espacial analítico. Cuando fue originalmente desarrollado por Guay (1977), recomendaba un tiempo límite de 20 minutos (40 seg/ítem) para minimizar el uso de estrategias analíticas en su resolución. Así se ha aplicado en este estudio.

Los entrevistados empleaban estrategias muy diferentes de entrada (Tab. 27). Un 67% de ellos rotaba mentalmente toda la figura, el 22% sólo una parte característica, el 11% cambiaba de estrategia: toda la figura si ésta y/o los giros eran simples y si no lo eran, rotaban una parte. Únicamente dos alumnos (6%), no giraban la pieza, la dejaban estática y se situaban ellos mentalmente en el punto de vista adecuado (cuando no era muy complicado).

Estrategias PSVT:R		N (36)	PSVT:R Pre Promedio (SD)	Coef. correl
Principal				
Espacial holística	Giro mentalmente toda la figura	24	23,1 (77,0%) (4,54)	-0,21
Espacial holística	Dejo la figura estática y me sitúo yo en el punto de vista adecuado (si la figura y/o los giros no son muy complicados)	2	27,0 (90%) -	0,13
Analítica espacial	Giro mentalmente una parte característica de la figura	8	23,3 (77,6%) (3,86)	-0,05
Analítica espacial	Giro toda la figura si ésta y/o los giros son simples. Si no, una parte o cara característica	4	28,3 (94,2%) (2,22)	0,38*
Comparación				
Espacial holístico	Comparo toda la figura del modelo con las soluciones / Busco la imaginada aunque me fijo en las partes visibles	12	24,9 (83,1%) (3,96)	0,20
Analítica espacial	Comparo una parte de la figura; la que quedaría delante o alguna singular	17	22,3 (74,2%) (4,36)	-0,32
Analítica espacial	Comparo toda la figura si es fácil. En caso contrario, la cara de delante o en la que me he basado	7	25,3 (84,4%) (5,01)	0,17

*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Tab. 27. Estrategias en la resolución de PSVT:R

Linn y Petersen (1985) deducían en su meta-análisis que en tareas de rotación mental una estrategia holística es más eficiente que una estrategia analítica porque requiere menos tiempo. Sin embargo, Lawton (1994) no encontró relación entre habilidad en rotación mental y estrategia aplicada. Just y Carpenter (1976) cuestionaban que un objeto complejo pueda ser

girado en su conjunto y su estudio, aplicando eye-fixation, indicó que la rotación mental de una figura compleja se realiza mediante la rotación de diferentes partes de la figura en diferentes episodios de rotación.

En este estudio no se detectan diferencias significativas entre los resultados de los alumnos que seguían la estrategia espacial holística de girar toda la pieza y los que aplicaban una estrategia analítica espacial, girando sólo una parte.

Los alumnos que explicaban con claridad que cambiaban de estrategia en función de la dificultad, aunque eran pocos, obtuvieron mejores resultados ($r=0,38$, $p<0,05$). Comentaban que a medida que iban avanzando en el test, cambiaban más de estrategia en función de la pieza o más bien del giro: cuando era simple, pensaban en el giro directamente (estrategia espacial holística). Si se complicaba, empleaban más recursos analíticos: por ejemplo *comparar* una cara antes y después de la rotación y aplicar la misma relación en la cara correspondiente de la figura objetivo. Los individuos con alta HE son más rápidos en el proceso de manipulación y más flexibles en la estrategia que adoptan (Just y Carpenter, 1985).

Normalmente trabajaban con giros de 90°. Si el giro se aplicaba sobre un mismo eje podían hacerlo de 180°. Sus comentarios evidenciaban que utilizaban los ejes estándar, relacionados además con los ejes principales de las figuras. Un alumno que, de entrada, usaba la estrategia de *cambio de perspectiva* (no rotaba la figura), cuando no conseguían hacerlo aplicaba la estrategia de *comparación*. Estas dos estrategias que ya definían (Just y Carpenter, 1985), permiten resolver el test sin girar la figura.

Varios entrevistados empleaban el verbo *girar* cuando la rotación se aplicaba respecto a un eje vertical. Si el eje de giro era horizontal utilizaban más los verbos *tumbar*, *volcar* o *caer*.

La mitad de los entrevistados comparaba sólo una cara o parte de la figura con las soluciones. En general, obtuvieron peores resultados ($M=22,25$, $SD=4,36$) que los que comparaban toda la pieza ($M=24,9$, $SD=3,96$), pero no es estadísticamente significativo.

Algunos de los entrevistados con mejores puntuaciones, buscaban en las soluciones la imagen que retenía su mente después de aplicar las rotaciones mentales. Aunque consideraban toda la pieza, se fijaban en las partes visibles. No todas las propiedades del objeto están contenidas en la representación que se gira (Just y Carpenter, 1976). Hegarty (2012) explicaba que los “*high-spatial visualizers*” tienden a abstraer sólo la información necesaria para resolver un problema y esta forma de trabajar les permite tener éxito en los test de HE. Es posible que esta característica pueda justificar algunas diferencias de resultados entre los participantes que aparentemente aplicaban la misma estrategia.

Estrategias en MCT

La resolución del test MCT pasa por tres fases: reconocimiento del sólido a partir del dibujo en perspectiva, cortar mentalmente el sólido por el plano y juzgar las magnitudes reales de la sección, si es necesario (Tsutsumi y otros, 1999). Es decir, la evaluación por MCT refleja principalmente la capacidad de interpretar el sólido a partir del dibujo en perspectiva y la capacidad de considerar los problemas analíticamente (Tsutsumi y otros, 2008). Puede deducirse, por tanto, que MCT no solo mide las habilidades espaciales sino también el pensamiento analítico.

Suzuki y otros (1990) definían dos categorías de problemas en MCT: Problemas de forma "*Pattern recognition problems*" y Problemas de dimensiones "*quantity problems*" o "*dimension specification problems*". Los primeros consisten en identificar la forma de la sección y los segundos requieren discriminar, además de la forma, las dimensiones de la sección (longitud de lados o ángulos entre lados).

Cuatro entrevistados destacaron de los demás en el resultado del pre-test (entre 23 y 25 aciertos). Aplicaban estrategias similares: imaginar el corte directamente cuando la pieza es sencilla y si es más complicada o compuesta, dibujar mentalmente las líneas que produce el plano sección. No hacer rotación mental de la sección y, dependiendo de la figura, comparar toda la pieza con las soluciones o una parte de ella (Tab. 28).

Los participantes que obtuvieron peores resultados solían hacer una rotación mental de la sección ($M=13,3$, $SD=4,15$). En ocasiones, cortaban (mentalmente) sólo las zonas que veían claras, en general planos verticales u horizontales, e iban descartando soluciones. En otros casos, no sabían qué estrategia aplicaban y siempre trabajaban a partir de las soluciones, por descarte. De todas formas, no existe una correlación estadística entre las estrategias y los resultados obtenidos.

Algunos alumnos comentaron que en determinados ejercicios fáciles relacionaban las figuras con objetos familiares. Por ejemplo: cortar un fuet, un trozo de queso. En este caso podría hablarse del tipo de estrategia definido por Hsi y otros (1997) como "*template*" o "*patterned-based*", que supone reducir el problema a elementos familiares, a casos resueltos previamente. Tres alumnos cortaban mentalmente la pieza cómo si fueran pasando un cuchillo o un escáner. Otros tres pensaban en la acción de separar la pieza y otros tantos se situaban mentalmente en el plano de corte.

Más del 90% de los encuestados empleaba estrategias analíticas en aquellos ítems donde era necesario fijarse en algunas dimensiones (cuando existen soluciones con la misma forma).

Otro aspecto interesante es que, en general, los alumnos que resolvían mejor la prueba MCT no realizaban mentalmente ningún movimiento: rotar sección, separar pieza... Se podría deducir que es un ejercicio de razonamiento espacial, más que de capacidad de visión espacial. Aunque es necesario saber interpretar bien la pieza y la posición del plano de corte, es difícil determinar qué faceta es más visual y cuál más analítica.

Estrategias MCT		N (36)	MCT Pre Promedio (SD)	Coef. correl
Principal				
Espacial holística	Me imagino el corte directamente	13	13,6 (54,5%) (4,11)	-0,24
Analítica espacial	Me imagino el corte directamente si la figura es simple. Cuando es más complicada dibujo en mi mente las aristas que produce el plano sección	18	16,4 (65,4%) (5,41)	0,25
Analítica espacial	Pienso en el corte de una parte (la que veo clara), descarto soluciones y analizo otras partes si es necesario (en general; si no es simple)	9	13,7 (54,7%) (3,00)	-0,18
Analítica espacial	Pienso como si fuera un escáner o un cuchillo que va generando la sección	3	16,3 (65,3%) (5,51)	0,08
Plano corte				
Analítica espacial	Hago una rotación mental de la sección para verla en magnitud real (normalmente)	11	13,3 (53,1%) (4,15)	-0,26
Espacial holística	No hago la rotación mental. Ya me la imagino en magnitud real	25	16,0 (63,8%) (5,07)	0,26
Analítica espacial	Pienso que separo la pieza	3	15,3 (61,3%) (5,77)	0,01
Analítica espacial	Me imagino situado en el plano de corte	3	13,3 (53,3%) (4,16)	-0,11
Comparación				
Espacial holística	Comparo toda la figura del modelo con las soluciones	9	12,6 (50,5%) (3,70)	-0,30
Analítica espacial	Comparo una parte de la figura del modelo con las soluciones. Si hay varias iguales, analizo otras partes (en general)	10	15,3 (61,2%) (4,81)	0,00
Analítica espacial	Dependiendo de la figura cambio de estrategia. Si es compleja, comparo una parte que veo clara	16	16,6 (66,3%) (5,19)	0,25
Dimensiones				
Analítica	Si hay varias opciones con la misma forma, analizo las dimensiones para ver cuál es la correcta	33	15,5 (61,9%) (4,92)	0,24
-	No me he fijado en las dimensiones. Sólo en la forma	3	11,3 (45,3%) (3,21)	-0,24

Tab. 28: Estrategias en la resolución de MCT

4.3.2 DIFICULTADES EN LA RESOLUCIÓN DE LOS TEST

La identificación de dificultades relacionadas con la resolución de los test puede ayudar también a programar actividades que permitan trabajar y solventar esos problemas.

De los resultados de este estudio puede deducirse que el test PSVT:R es bastante más visual y menos analítico que DAT-SR, coincidiendo con las conclusiones de otros autores (Lohman, 1979) Varios alumnos comentaron que PSVT:R exige más concentración y, por tanto, más esfuerzo. Sin embargo, algunos alumnos que mostraban dificultades en resolver los otros test, PSVT:R les resultaba fácil. Realmente parecen habilidades espaciales muy diferentes, a pesar de la conclusión de Harris y otros (2013), que encontraron grandes similitudes entre rotación mental y plegado mental. Es posible que la gran diferencia cognitiva radique en que la rotación mental está mucho más condicionada por la memoria de trabajo espacial. Aunque existe una correlación moderada entre los resultados de los pre-test DAT-SR y PSVT:R: ($N=88$, $r=0,62$, $p<0,001$).

Dificultades en DAT-SR

Algo característico de los participantes que obtuvieron peores resultados en el pre-test es que, en ocasiones, les costaba montar la figura a partir del desarrollo del enunciado ($r=0,41$, $p<0,05$): no eran capaces de aplicar una estrategia holística. Aunque en algunos casos tenían más problemas con los cubos que con el resto de figuras: los cubos podían montarlos bien, pero después les costaba retenerlos en mente (Tab. 29).

Dificultades DAT-SR	N (36)	DAT-SR Pre	
		Promedio (SD)	Coef. correl
Ver (montar mentalmente) la figura a partir del desarrollo del modelo	8	39,5 (65,8%) (9,20)	0,41*
Rotar mentalmente la figura cuando ya la he visualizado	20	46,5 (77,5%) (10,05)	0,01
Retener la figura en la mente cuando la he montado para compararla con las soluciones	6	47,8 (79,7%) (10,52)	0,06
Ninguno	3	55,0 (91,7%) (4,36)	0,28

*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral)

Tab. 29. Dificultades en la resolución de DAT-SR

El 56% de los participantes encontraba alguna dificultad en rotar mentalmente la figura cuando la tenían montada, para poder compararla con las soluciones. Es curioso que algunos alumnos hablaban de montar la figura, rotarla y comparar, mientras que otros no decían nada de rotar, como si no hicieran conscientemente este movimiento. Sugiere que el proceso mental de montar la figura varía de unos individuos a otros; mientras que unos la montan en una posición concreta, otros lo hacen de una forma más abstracta, sin posicionarla mentalmente. En futuras entrevistas valdría la pena averiguar si es así.

Dificultades en PSVT:R

El problema más común (42% de los entrevistados) era aplicar los giros a la figura objetivo. Se recogieron tres motivos posibles: no sabían rotarla, no conseguían aplicar el segundo giro porque les costaba retener en memoria la figura rotada del primer paso y no retenían en mente la figura totalmente rotada para poder compararla con las soluciones (Tab. 30).

Casi una tercera parte de los entrevistados tenía dificultades para interpretar algunas perspectivas y a un 22% les costaba retener en memoria los giros aplicados en la pieza del modelo. La rotación mental requiere memoria de trabajo. En la pág. 85 se han mencionado otros estudios que habían detectado estos problemas.

Dificultades PSVT:R	N (36)	PSVT:R Pre	
		Promedio (SD)	Coef. correl
Entender las figuras de la solución en algunas perspectivas	11	23,6 (78,8%) (5,82)	-0,02
Ver los giros que se han aplicado en el modelo / Encontrar el giro más fácil	5	25,8 (86,0%) (3,35)	0,20
Retener en memoria los giros aplicados en el modelo para poder compararlos con la figura objetivo	8	23,3 (77,6%) (3,90)	-0,05
Aplicar los giros a la figura objetivo / Retener en mente la figura girada después de cada paso	15	23,2 (77,4%) (4,48)	-0,10
No lo sé muy bien. Depende de la figura	3	27,0 (90%) (2,83)	0,19

Tab. 30. Dificultades en la resolución de PSVT:R

Los comentarios de los entrevistados evidenciaron que, en algunas ocasiones, no podían mantener mentalmente la imagen de la figura girada porque no la habían definido bien. O porque cuando giraban sólo una cara singular (no toda la figura), no conseguían aplicar los giros porque no habían definido bien las otras caras. Just y Carpenter (1976 y 1985) aplicaron *eye-fixation* en la tarea “*the cube comparison task*” y detectaron que el tiempo de respuesta aumentaba cuando la figura se complicaba, pero el tiempo extra se empleaba fundamentalmente en codificar la figura, no en rotarla. Shepard y Metzler (1988) dedujeron también que, cuando se han codificado los objetos en tres dimensiones, su rotación se puede imaginar tan rápidamente como la rotación de formas bidimensionales. Wright y otros (2008) comprobaron que el entrenamiento en una tarea de rotación mental (MRT) produjo más beneficios en el proceso inicial de transformación mental (codificación de la estructura de la pieza) que en los procesos posteriores (rotación o comparación de los objetos).

Sorprende que los alumnos con dificultades para ver los giros aplicados a la figura del modelo, no tenían ningún problema en aplicarlos a la figura objetivo. En ocasiones les costaba encontrar el giro más fácil. Peters y otros (1995) detectaron en su estudio con MRT que los participantes consideraban muy difíciles los ítems que requerían rotación sobre el eje vertical y horizontal (ambos). Este estudio parece confirmar este dato. Los ejercicios que resolvieron peor, corresponden a rotaciones sobre dos ejes, a figuras con planos inclinados y perspectivas confusas. Los ejercicios que mejor han hecho comprenden una sola rotación sobre un eje.

DIFICULTADES EN MCT

Adanez y Velasco (2002) consideraban que el test MCT es un excelente indicador de la construcción de la visualización. Refleja principalmente las habilidades de toma y manipulación de imágenes mentales tridimensionales. Los errores más comunes se basan en el hecho de no reconocer correctamente las formas espaciales de los objetos: dificultades en interpretar bien el sólido, localizar la posición del plano de corte respecto al sólido y transformar la sección a magnitud real (Németh y Hoffmann, 2006; Šipuš y Čižmešija, 2012; Adanez y Velasco, 2002 y Tsutsumi y otros, 1999). Este estudio lo corrobora: prácticamente la mitad de los entrevistados tenía problemas para ver por dónde pasaba el plano de corte: si coincidía con aristas de la pieza o si atravesaba determinadas zonas intermedias. Al 20% les costaba interpretar los elementos ocultos en las perspectivas de las piezas (Tab. 31).

Un aspecto que sorprendió es que el 14% no sabían desde qué lado mirar la sección y tenían que deducirlo de las soluciones. Ninguno de estos alumnos había cursado dibujo técnico en bachillerato. Es posible que cuando se adquiere un hábito de trabajo con perspectivas axonométricas, se visualice instintivamente el plano de corte desde el mismo punto de vista que la axonométrica.

Una cuarta parte de los entrevistados reconoció tener dificultad en interpretar la sección que producía un plano oblicuo en algunas partes de figuras con planos inclinados, superficies curvas, o en zonas intermedias huecas.

Dificultades MCT	N (36)	MCT Pre	
		Promedio (SD)	Coef. correl
Entender la figura porque no sé interpretar algunos elementos ocultos	7	15,6 (62,3%) (6,13)	0,05
Ver por dónde pasa el plano sección (si coincide con aristas, si pasa por...)	15	14,1 (56,6%) (4,99)	-0,16
Rotar mentalmente la sección para verla en verdadera magnitud	2	12,0 (48,0%) (4,24)	-0,16
Saber desde qué lado tengo que mirar la sección	5	12,6 (50,4%) (3,29)	-0,21
Interpretar el corte que produce el plano (en planos inclinados, superficies curvas, zonas intermedias huecas...)	9	16,3 (65,3%) (4,15)	0,15
Nada	3	19,0 (76%) (7,81)	0,25

Tab. 31. Dificultades en la resolución de MCT

RANKING DE DIFICULTAD DE CADA TEST

Los participantes fueron encuestados sobre qué test les había parecido más difícil y cuál más fácil y se comparó con sus resultados. Únicamente para un tercio de ellos coincidió su sensación de dificultad con las puntuaciones en sus pre-test. La mayoría de los entrevistados (el 78%) consideró que DAT-SR era el más fácil de los tres. Sin embargo, de promedio resolvieron algo mejor PSVT:R. Es posible que influyera que en DAT-SR les faltó tiempo. De los resultados de apartados anteriores puede deducirse que PSVT:R es bastante más visual y menos analítico que DAT-SR. Varios alumnos comentaron que PSVT:R exige más concentración y, por tanto, más esfuerzo.

MCT fue el test que hicieron peor (el 68%) y les pareció más difícil (al 58%). El 31% (10 alumnos), consideró que PSVT:R era más difícil. Paradójicamente, 8 de estos 10 alumnos obtuvieron mejores resultados que en MCT. Posiblemente porque, como ya se ha comentado, PSVT:R exige más concentración. Al contrario, a algunos alumnos que los otros test les costaban, PSVT:R les parecía fácil y divertido.

Se preguntó también si hacer el test les producía estrés. El test que resolvían con mayor tranquilidad era DAT-SR. El 50% de los entrevistados se estresaba algo haciendo MCT, el porcentaje se reducía al 39% en PSVT:R y al 25% en DAT-SR. Únicamente se encontró una correlación entre estrés y la puntuación obtenida en PSVT:R ($r=-0,38$, $p<0,05$).

Opinión dificultad test / Resultados	N (total=33)		
	DAT-SR	PSVT:R	MCT
Opinión dificultad			
Qué test te han parecido más fácil	26	4	3
Qué test te ha parecido más difícil	1	11	21
Resultado Pre-Test			
Test con mejor resultado	16	17	0
Test con peor resultado	6	3	24

Tab. 32. Dificultad de las pruebas. Opinión y resultados

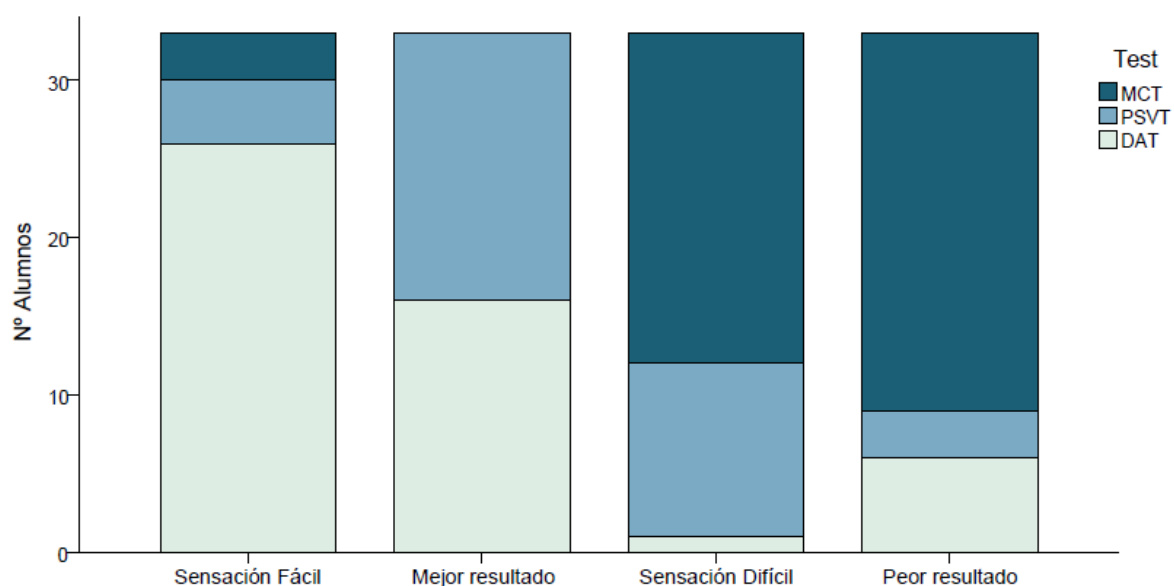


Fig. 97. Dificultad de las pruebas. Opinión y resultados

Estrés	Participantes (n=36)			Promedio % aciertos(SD)		
	DAT-SR	PSVT:R	MCT	DAT-SR	PSVT:R	MCT
No me produce estrés	27	22	18	79,9% (16,30)	83,2% (13,80)	63,1% (18,48)
Me estresa un poco	9	10	13	69,4% (12,78)	76,7% (15,07)	55,4% (20,20)
Me estresa bastante	0	4	3	-	65,0% (11,40)	54,7% (16,64)
Coef. Correlación				-0,28	-0,38*	-0,19

*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral)

Tab. 33 Estrés durante la resolución de las pruebas

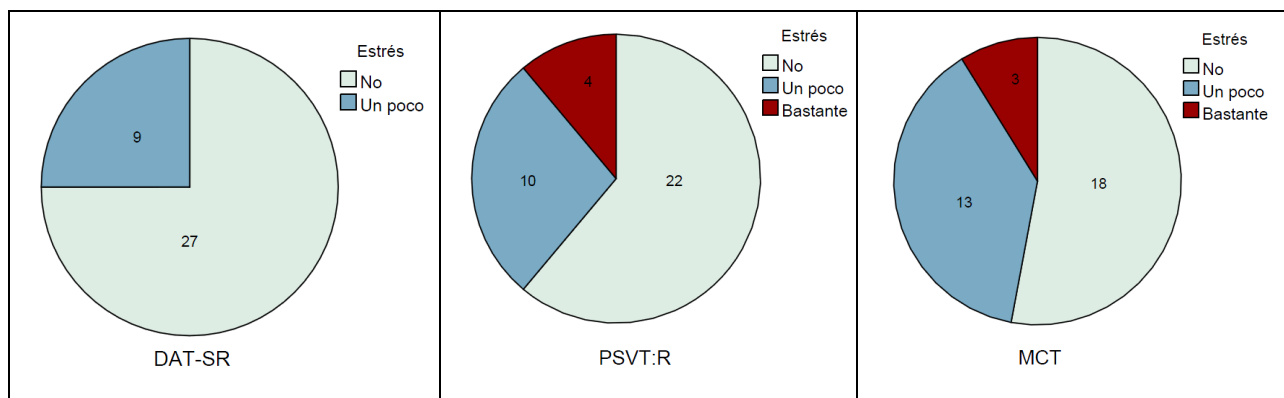


Fig. 98. Estrés durante la resolución de las pruebas

4.3.3 Estrategias generales de resolución de test

Este apartado recoge otras estrategias aplicadas a la resolución de los test: verbal y gestual, y estrategias propias de realización de cualquier test: elección de la opción y consideración del tiempo límite (Tab. 34)

ESTRATEGIA VERBAL

No se han detectado relaciones entre los resultados de los test y el hecho de utilizar o no estrategia verbal. Este resultado contradice las deducciones de otros estudios que concluyeron que hay una relación entre un rendimiento espacial alto y la ausencia de estrategia verbal, por ejemplo (Cochran y Wheatley, 1989).

En los test DAT-SR y PSVT:R, prácticamente la mitad de los alumnos hablaban en su mente, mientras que en MCT sólo un tercio lo hacía. En el proceso de resolución del test DAT comentaban relaciones entre caras y en PSVT: izquierda, derecha.... O bien contaban los giros: 1,2...

ESTRATEGIA GESTUAL

Más de la mitad de los entrevistados empleaban *gestos* para resolver el test PSVT:R. Les ayudaba a recordar los giros aplicados: hacían con la mano los gestos de rotación de la figura del modelo y los repetían en la figura objetivo.

Sin embargo en DAT-SR y MCT el porcentaje se reduce a un tercio. A pesar de no existir correlaciones estadísticas, los alumnos que realizaron mejor los test DAT-SR y MCT no hacían gestos. Normalmente el gesto es una ayuda para realizar la tarea y no lo necesitaban, mientras que en PSVT:R les ayudaba a memorizar los giros aplicados.

Los tipo de gestos que utilizaban en DAT-SR eran: doblar y/o girar con la/s mano/s, girar la cabeza, señalar pantalla... En PSVT:R: rotar con mano/s o dedo, girar el cuerpo, señalar con ratón la dirección del rayo de visión...En MCT: dibujar con el ratón o con el dedo en el aire la línea de contorno, mover la cabeza para ver el plano de corte, colocar la mano como el plano de sección...

ELECCIÓN

PSVT:R es la única de las tres pruebas donde la mayoría de los entrevistados (70%) buscaba directamente la imagen de la solución pensada entre las opciones; muy pocos trabajaban por descarte. En DAT-SR y MCT el porcentaje se reducía al 17%. Los demás, o trabajaban por descarte o cambiaban de estrategia en función de la figura

En PSVT:R, el 44% de los participantes se conformaba cuando encontraba la respuesta correcta; ni revisaba las demás opciones ni comprobaba. Parece que esta forma de trabajar podía conducirles a errores porque existe una correlación negativa con los resultados del test ($r=-0,46$, $p<0,01$). En DAT-SR revisaban todas las opciones el 50% y en MCT el 67%. Hay que tener en cuenta que MCT requiere más comparación entre las opciones posibles; algunas soluciones tienen prácticamente la misma forma y la diferencia radica en las dimensiones.

TIEMPO LÍMITE

La inmensa mayoría de los entrevistados se preocuparon más de contestar correctamente que de completar todas las preguntas. Posiblemente, por ese motivo dejaron muchas respuestas en blanco en DAT-SR. El promedio de respuestas en blanco (%) de los diferentes test fue: DAT-SR ($M=17,4$, $SD=16,2$); PSVT:R ($M=8,1$, $SD=12,7$); MCT ($M=3,6$, $SD=7,4$).

Además de las diferencias de velocidades que pudiera exigir cada una de las pruebas pudo influir también que DAT-SR fue la primera que hicieron.

Estrategias generales resolución test	Participantes n=36			Correlación con resultado		
	DAT	PSVT	MCT	DAT	PSVT:R	MCT
Verbal						
Me baso en la visualización y no hablo conmigo	18	18	24	0,10	-0,16	0,17
Pienso hablando (en mi mente)	15	18	10	-0,13	0,16	-0,08
No lo sé	2	-	2	0,06	-	-0,18
Gestual						
No hago gestos	24	16	25	0,09	-0,03	0,28
Hago gestos	12	20	11	-0,09	0,03	-0,28
Elección						
Busco la solución pensada entre las opciones	6	25	7	-0,04	0,03	0,27
Comparo las opciones para ver cuál es más probable y elijo	15	6	14	0,06	-0,18	-0,19
Hago un poco de las dos anteriores, dependiendo de la figura	15	5	15	-0,03	0,14	-0,03
Orden						
Paso por las opciones por orden: La primera, la segunda...	9	5	8	0,02	0,02	-0,08
Paso por las opciones sin orden	21	28	20	-0,11	-0,02	-0,18
Depende de la dificultad. Si es más difícil, voy por orden	4	0	6	0,16	-	0,32
Revisión						
Reviso todas las opciones	18	14	23	0,02	0,26	0,10
Cuando encuentro la correcta, no miro las demás	8	16	7	0,13	-0,46**	-0,19
Sólo si estoy muy seguro no miro las demás	7	3	4	-0,15	0,30	0,10
Cuando encuentro la correcta, no miro las demás pero compruebo que esté bien	3	3	-	-0,01	0,07	-
Tiempo						
Me he preocupado más de elegir las respuestas correctas que del tiempo límite	31	29	28	0,00	0,17	-0,26
Me he preocupado más de contestar todas las respuestas que de acertarlas todas	4	6	4	-0,12	-0,20	0,03
Me he preocupado igual de contestar correctamente y del tiempo límite	1	1	3	0,21	0,05	0,16

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Tab. 34. Estrategias generales de resolución en las pruebas

4.3.4 RELACIÓN CON VARIABLES DEMOGRÁFICAS DE LOS ENTREVISTADOS

Se han recogido únicamente las variables para las que se ha detectado alguna correlación. Hay que considerar que la muestra es reducida. Las variables son: género, primera vez que se cursa la asignatura, dibujo en bachillerato, auto-informe sobre la propia capacidad espacial, jugar habitualmente con videojuegos y haber jugado con juegos de construcción (Tab. 35).

Variable	N(36)	% DAT-SR Pre (SD)	% PSVT pre (SD)	% MCT pre (SD)
Género				
Hombre	24	79,3% (16,03)	82,4% (12,90)	64,0% (18,76)
Mujer	12	73,5% (16,00)	71,3% (16,80)	52,7% (20,08)
Has cursado dibujo en bachillerato				
Sí	18	80,0% (14,47)	80,6% (13,23)	70,1% (18,88)
No	18	74,8% (17,47)	77,8% (16,33)	51,3% (15,88)
Consideras tu capacidad de visión espacial				
Muy buena	3	80,0% (18,03)	83,3% (15,27)	74,7% (16,16)
Buena	19	84,9% (12,52)	84,3% (10,33)	67,8% (19,40)
Normal	9	72,1% (15,17)	75,6% (17,47)	49,3% (10,20)
Mala	5	57,3% (8,13)	65,3% (16,10)	40,0% (13,48)
Juegas habitualmente con videojuegos				
No	24	73,5% (15,33)	77,8% (14,80)	53,7% (16,92)
Sí	12	84,6% (15,30)	81,8% (15,17)	73,3% (18,48)
Jugabas a juegos de construcción				
No	15	70,0% (14,80)	76,0% (15,30)	51,7% (17,64)
Sí	21	83,2% (14,77)	81,6% (14,33)	66,3% (19,04)

Tab. 35. Resultados de los entrevistados en las pruebas. Variables

GÉNERO

No se han detectado diferencias entre estrategias aplicadas por hombres y mujeres, aunque en las tres pruebas los hombres obtuvieron de promedio mejores resultados que las mujeres. Algunos estudios confirman nuestros resultados (Burin y Delgado, 2000; Peters y otros, 1995; Gluck y Fitting, 2003 y Cochran y Wheatley, 1989) y otros muchos describen diferencias de estrategias entre hombres y mujeres (ver pág. 88). Las correlaciones se han analizado con el test de Fisher.

No se ha observado que los hombres utilicen más estrategias holísticas que las mujeres, confirmando los resultados de Gluck y Fitting (2003) y de Peters y otros (1995). Sólo se ha apreciado una pequeña diferencia: las mujeres hicieron más gestos en MCT ($p < 0,05$). En la tarea de rotación mental PSVT:R no se han visto diferencias de estrategias de ningún tipo, ni verbales ni gestuales. Paradójicamente, en DAT-SR pensaban verbalmente más mujeres que hombres (mitad de mujeres y 1/3 de hombres), mientras que en MCT la relación se invierte (1/3 de los hombres y 1/4 de mujeres). Sin embargo, Peters y otros (1995) y Robert y Chevrier (2003) observaron en la tarea de rotación mental MRT que las mujeres usaban más estrategias verbales y gestuales que los hombres.

Existen algunas diferencias en las dificultades que han tenido al resolver los test: Las mujeres tenían más problemas para ver por donde pasaba el plano sección ($p < 0,05$) en MCT. Quizás podría relacionarse con los resultados de Iwanowska y Voyer (2013), que observaron en varios test que los hombres obtuvieron puntuaciones más altas que las mujeres en ítems 2D que requerían conversión a 3D, aunque no a la inversa. De todas formas, en el test PSVT:R no se han apreciado diferencias entre sexos en la dificultad en entender algunas perspectivas, coincidiendo con Robert y Chevrier (2003).

Otra diferencia detectada relacionada con las dificultades descritas es que a las mujeres les costaba más retener en memoria los giros aplicados para poder compararlos con la figura objetivo en PSVT ($p < 0,05$). Aunque hay que tener en cuenta que es un número muy reducido. Quizás este resultado podría apoyar la teoría de que existen diferencias de sexo a favor de los hombres en las pruebas que dependen de la capacidad de memoria, pero no en las que requieren habilidades de organización espacial o el uso de estrategias relacionadas con la geometría (Shah y otros, 2013).

En el estudio que realizaron Cochran y Wheatley (1989) los hombres puntuaron significativamente más alto que las mujeres en DAT-SR, pero no encontraron otras diferencias de género. De nuestros resultados podría deducirse que hay una diferencia de género en el tiempo empleado en resolver los ítems del test DAT-SR, si se considera el número de respuestas en blanco del conjunto de los testeados, no sólo de los entrevistados. Los hombres acertaron de media un 74% de las respuestas y las mujeres un 70%. Sin embargo las mujeres fallaron un 9% y los hombres un 10%. Las mujeres dejaron muchas más respuestas en blanco: 20% frente al 16%. En los test MCT y PSVT:R las respuestas en blanco eran mínimas para ambos sexos. Este dato puede apoyar la teoría de Voyer y otros (2004 y 2011): las mujeres trabajan más lentamente y son más propensas a acertar cuando se les da más tiempo para responder.

No se detectan diferencias de género en las estrategias empleadas a la hora de seleccionar la respuesta correcta entre las opciones. Sin embargo, Hirnstein y otros (2009) sugerían que los hombres confían más en una estrategia de respuesta de salto que las mujeres, sin revisar todas las opciones.

En la investigación que llevaron a cabo (Robert & Chevrier 2003) con MRT, los hombres consideraban la tarea menos difícil que las mujeres. Sin embargo, en este estudio (con PSVT:R), esta proporción se invierte (haciendo una clasificación entre los 3 test). Quizás la diferencia es que su estudio se hizo con estudiantes de grados de la rama social y éste se ha realizado con estudiantes de ingeniería.

OTRAS

ESTUDIO DE DIBUJO EN BACHILLERATO

Se han detectado diferencias en las estrategias que siguen unos y otros: en la prueba MCT los entrevistados que han cursado dibujo en bachillerato no suelen rotar mentalmente la sección, comparan toda la figura del modelo con las soluciones, algunos buscan la solución pensada entre las opciones ($p < 0,05$), no pasan por orden ($p < 0,01$) y no tienen problemas en saber desde qué lado tienen que mirar la sección ($p < 0,05$).

En PSVT:R los que han hecho dibujo tienden a buscar la solución pensada entre las opciones ($p < 0,05$), lo que puede sugerir que son capaces de manejar mejor la figura en su mente. Sin embargo, no se aprecia correlación con una estrategia más o menos holística.

AUTO-INFORME SOBRE CAPACIDAD ESPACIAL

En los tres test es significativa la correlación entre los resultados de los entrevistados y la apreciación personal sobre su habilidad espacial. DAT ($r = 0,55$, $p < 0,01$), PSVT ($r = 0,43$, $p < 0,05$), MCT ($r = 0,57$, $p < 0,01$)

Estos resultados confirman los de otros autores, por ejemplo Strasser y otros (2010). Sorby (2009) sugería que la formación espacial centrada en los estudiantes de ingeniería que se auto-identifican con problemas para las tareas espaciales puede ser particularmente útil.

Se ha encontrado alguna relación con las estrategias aplicadas. En PSVT:R los entrevistados que consideran tener peor capacidad espacial no miraban más opciones cuando encontraban la correcta ($p < 0,01$). También les costaba más retener en memoria los giros aplicados en la figura ejemplo ($p < 0,05$). Lógicamente estas variables están también relacionadas con los resultados de los test.

Sorprende que MCT es el único test donde se aprecia una correlación entre la apreciación de los alumnos sobre sus habilidades espaciales y el estrés que les ocasiona. Los que consideran tener mejor HE no se estresaban cuando hacían el test ($p < 0,05$)

USO HABITUAL DE VIDEOJUEGOS

En cuanto a estrategias, no se han detectado diferencias claras. Únicamente una correlación con los que dicen no tener problemas en DAT ($p < 0,01$) ni en MCT ($p < 0,01$), aunque son sólo tres.

JUEGOS DE CONSTRUCCIÓN

También se han observado algunas diferencias en las estrategias. Los que jugaban habitualmente con juegos de construcción empleaban en PSVT:R menos estrategias verbales ($p < 0,05$). También aplicaban una estrategia más flexible a la hora de comparar: si el ítem era fácil, comparaban toda la figura. Si era más complejo, la cara de delante ($p < 0,05$). Revisaban todas las opciones o comprobaban que estuviera bien la elegida ($p < 0,05$). Otra diferencia es que les costaba menos ver los giros aplicados a la figura ejemplo ($p < 0,05$).

En el test MCT no solían trabajar de entrada por descarte de soluciones ($p < 0,01$); algunos buscaban la solución pensada y otros lo hacían o no dependiendo de la figura.

No se aprecia ninguna diferencia de estrategias en la realización del test DAT-SR.

OTRAS VARIABLES

Los alumnos que tuvieron peores notas de matemáticas en bachillerato tenían más problemas para montar mentalmente la figura del modelo a partir del desarrollo en DAT-SR ($p < 0,01$).

No se aprecia una relación significativa entre los que hacen más deporte y las estrategias que utilizaban para resolverlos.

PERFIL DE LOS MEJORES ALUMNOS

Los 5 mejores alumnos obtuvieron resultados superiores al 90% en las tres pruebas de habilidad espacial. Todos, excepto uno, habían cursado dibujo en bachillerato con notas muy altas. Posiblemente por ese motivo, el alumno que no había hecho dibujo no llegó al 90% de aciertos en MCT (88%), aunque se le ha incluido entre los mejores. Todos son conscientes de que su capacidad espacial es buena.

Utilizan estrategias flexibles en función del ejercicio: espacial holística cuando es simple y recurren a estrategias más analíticas cuando el ejercicio es más complicado o cuando, con la práctica, se percatan de que en algunos ejercicios es más fácil aplicar una estrategia analítica. Únicamente emplean gestos cuando resuelven el test PSVT:R y sólo uno de ellos emplea estrategias verbales.

4.4 ENCUESTA DE OPINIÓN

A final de curso se realizó una encuesta a los alumnos para conocer su opinión sobre sus habilidades espaciales y su desarrollo tras cursar la asignatura Expresión Gráfica. La encuesta se realizó online, en formulario de Google y la respondieron 78 alumnos.

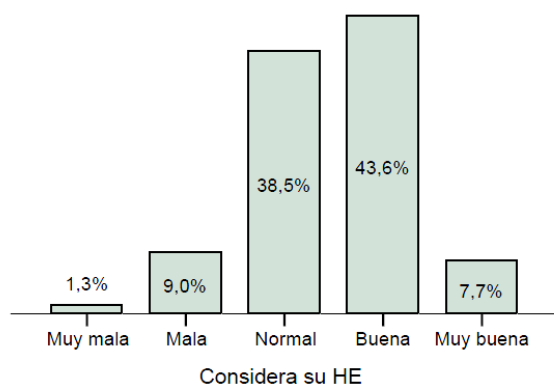
Las preguntas fueron las siguientes:

- *En general, crees que tienes una capacidad de visión espacial:*
Opciones: Muy mala - Mala - Normal - Buena - Muy buena
- *¿Crees que has mejorado tu capacidad espacial durante el curso?*
Opciones: No - Poco - Bastante – Mucho
- *Qué parte de la asignatura crees que te ha ayudado más para desarrollar tus habilidades espaciales*
Opciones: Modelado y planos - Poliedros - Superficies - Poliedros + Superficies – Todo
- *Qué parte de la asignatura te ha gustado más o te ha parecido más interesante*
Opciones: Modelado y planos - Poliedros - Superficies - Poliedros + Superficies- Todo

4.4.1 AUTO-INFORME DE CAPACIDAD ESPACIAL

En la encuesta de variables inicial únicamente se había preguntado a los alumnos que realizaban los test si consideraban que su capacidad de visión espacial era buena o no. Al final de curso se volvió a realizar la misma pregunta (antes de realizar el último examen), pero con más opciones de respuesta. Los alumnos no tenían conocimiento sobre sus puntuaciones obtenidas en los test.

Únicamente el 10,3% de los alumnos que contestaron esta encuesta consideraba que sus habilidades espaciales eran malas. (El único alumno que seleccionó la opción muy mala, fue incluido en este grupo). Aproximadamente la mitad (51,3%), opinaban que eran buenas o muy buenas y el 38,5% normal (Fig. 99).



	Frecuencia	Porcentaje
Muy mala	1	1,3
Mala	7	9,0
Normal	30	38,5
Buena	34	43,6
Muy buena	6	7,7
Total	78	100,0

Fig. 99. Considera buena su Habilidad espacial. Frecuencias

En la Tabla Tab. 36 se reflejan las medias de los test pre y pos, ganancias y notas de la asignatura para cada nivel de HE (según apreciación del propio alumno) y los coeficientes de correlación (Spearman). En la Fig. 100 se representan las medias en los test iniciales y finales.

Como era de esperar, las ganancias obtenidas en los test no tienen correlación con el auto-informe de las HE. Sin embargo, las puntuaciones en los test pre y pos y las notas en la asignatura, están relacionadas con la opinión del alumno sobre sus habilidades espaciales. Los coeficientes de correlación están comprendidos entre 0,38 y 0,59, todos con $p < 0,01$.

De promedio, los alumnos que dicen tener unas HE normales, son los que más ganancia han experimentado entre el test y el pos test, a pesar de que difieren mucho entre unos alumnos y otros y la desviación estándar es superior a la media en los test PSVT:R y MCT. Los alumnos que ganaron menos puntuación entre pre y pos test son los que consideran tener una HE muy alta.

El test mejor relacionado con la opinión sobre sus HE es MCT ($r_s = 0,58$ en pre y $r_s = 0,59$ en pos, $p < 0,001$). El que peor correlación tiene es PSVT:R (0,46 en pre y 0,35 en pos, $p < 0,01$).

La nota final de la asignatura tiene una correlación de $r_s = 0,43$, $p < 0,001$.

Auto-informe de HE a final de curso. Puntuaciones medias (SD)													
	%DAT- Pre	%PSVT- Pre	%MCT- Pre	%DAT- Pos	%PSVT- Pos	%MCT- Pos	%Gain DAT	%Gain PSVT	%Gain MCT	Nota P1	Nota model.	Nota P2	Nota Final
Mala	58,3 (10,2)	62,8 (13,4)	37,7 (12,4)	64,5 (12,5)	75,0 (10,6)	41,7 (13,6)	8,7 (7,5)	10,8 (7,4)	7,3 (10,6)	32,5 (23,71)	39,8 (21,9)	53,1 (21,5)	58,8 (9,3)
Normal	68,5 (14,5)	71,9 (16,7)	53,0 (11,2)	80,8 (13,0)	81,6 (12,4)	63,6 (15,1)	14,5 (11,3)	12,3 (14,2)	12,6 (12,7)	49,3 (16,4)	57,2 (23,5)	59,6 (24,2)	65,8 (14,0)
Buena	81,2 (11,7)	81,9 (10,7)	66,9 (18,2)	90,1 (7,3)	86,1 (9,0)	75,6 (14,4)	10,5 (9,6)	6,8 (9,4)	9,8 (11,1)	59,2 (21,2)	67,4 (24,9)	73,5 (27,9)	76,1 (15,5)
Muy buena	79,7 (16,5)	86,3 (14,5)	78,0 (12,1)	88,3 (10,8)	94,0 (7,4)	86,4 (7,8)	8,7 (8,6)	3,8 (5,4)	4,8 (11,1)	63,8 (21,1)	80,21 (19,5)	79,17 (11,6)	78,5 (8,8)
Co. (S)	,477	,457	,581**	,482**	,346**	,593**	-,098	-,226	-,096	,376**	,390**	,352**	,428**
Sign	P<0,001	P<0,001	P<0,001	P<0,001	P<0,01	P<0,001	x	x	x	P<0,01	P<0,01	P<0,01	P<0,001

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Tab. 36. Puntuaciones medias y correlaciones. Auto-informe de HE

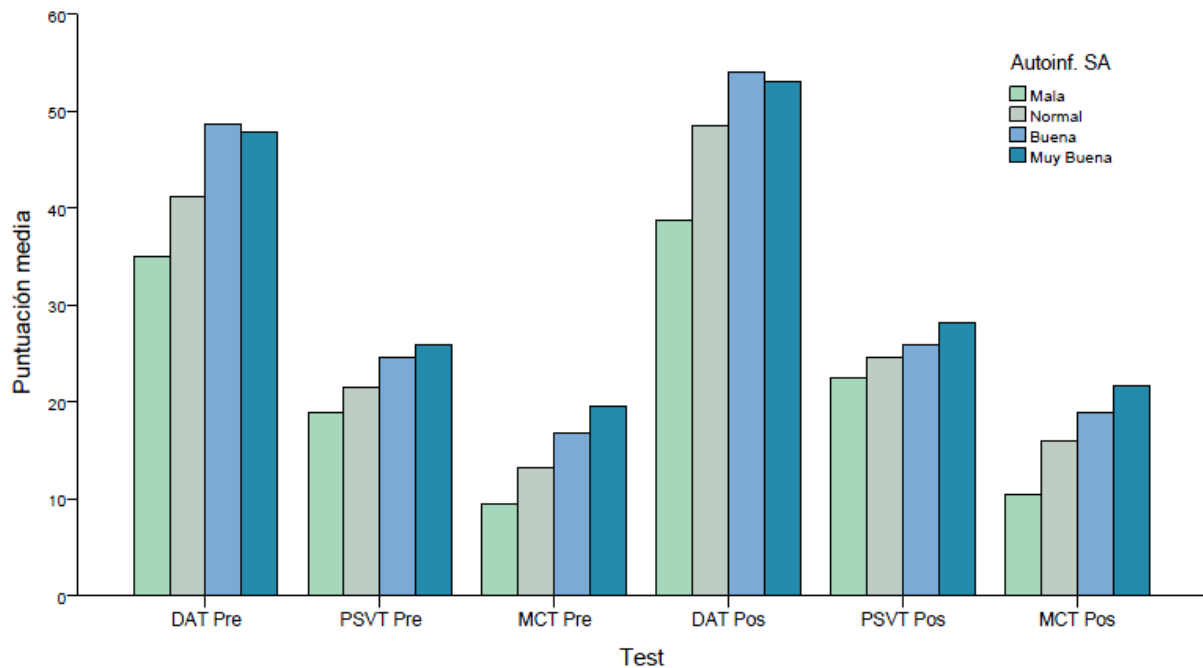
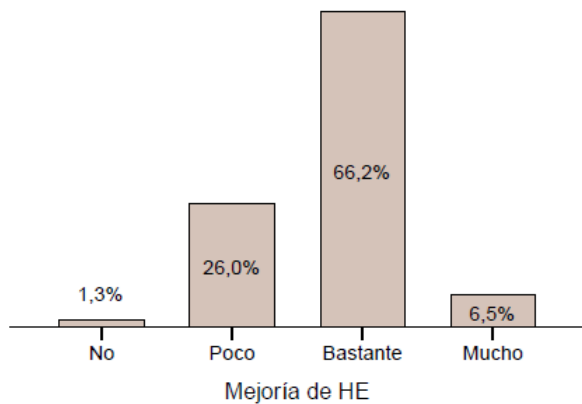


Fig. 100. Puntuaciones medias en las pruebas. Auto-informe de HE

4.4.2 MEJORÍA DE LAS HABILIDADES ESPACIALES



	Frecuencia	Porcentaje
No	1	1,3
Poco	20	26,0
Bastante	51	66,2
Mucho	5	6,5
Total	77	100,0

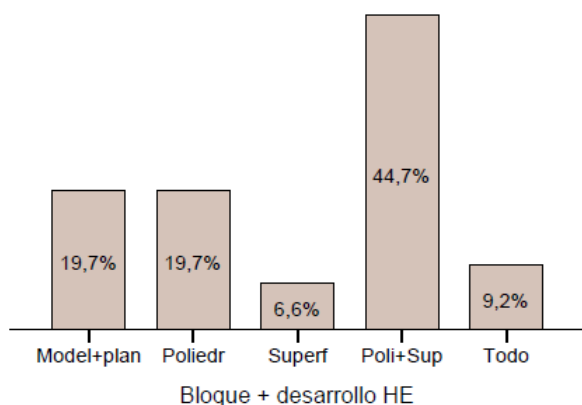
Fig. 101. Opinión Mejoría HE. Frecuencias.

El 64% de los encuestados contestó que sus habilidades espaciales habían mejorado bastante durante el curso de Expresión Gráfica, el 26% poco, el 6% mucho y el 4% nada.

4.4.3 MATERIA DE LA ASIGNATURA

El 71% creía que la parte de geometría 3D (actividades relacionadas con poliedros y superficies), era la que más había desarrollado sus HE. El 20% opinaba que era la parte de modelado y planos de piezas y el 9% creía que era la suma de todo.

Sin embargo, en cuanto a preferencias, se invertía el orden: al 63% les había gustado más la parte de modelado y planos, al 26% la de geometría y al 11% todo (Fig. 102 y FIG. 103).



	Frecuencia	Porcentaje
Model+plan	15	19,7
Poliedr	15	19,7
Superf	5	6,6
Poli+Sup	34	44,7
Todo	7	9,2
Total	76	100,0

Fig. 102. Opinión sobre qué tema ha desarrollado más su HE

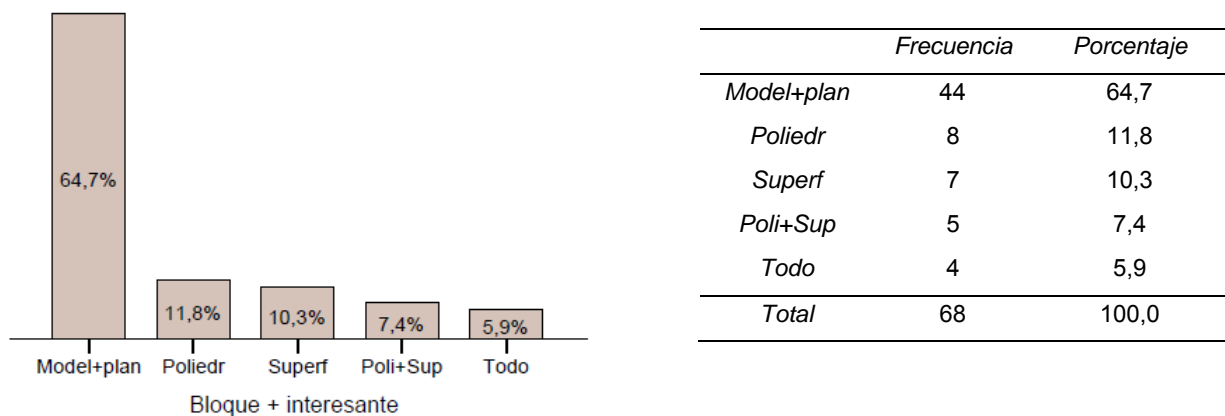


Fig. 103. Opinión sobre qué tema ha interesado más

4.5 ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS DAT-SR, PSVT:R Y MCT

Tras un primer análisis sobre los resultados en los test en el apartado 4.1 (pág. 153), se analiza cada uno de ellos, estableciendo intervalos de aciertos y comparando las diferencias entre los iniciales (pre) y los finales (pos), realizados a principio y final de curso.

Se ha analizado también el porcentaje de aciertos en los diferentes ítems de las pruebas, con la finalidad de poder deducir qué características suponen una mayor dificultad.

Se han comparado los resultados de los estudiantes de ingeniería en la prueba *Mental Cutting Test* (MCT) con otra población de diferentes edades, estudios y profesiones

4.5.1 DAT-SR

En las Tablas TAB. 37 y TAB. 38 puede observarse la distribución de puntuaciones en el test DAT-SR. El valor mínimo es 22 y el máximo la puntuación total: 60. En el test inicial, únicamente el 44,6% de los alumnos superaba los 40 aciertos, mientras que en el test final lo superaron un 74% y más de la mitad de los alumnos (58,5%) superó los 50 puntos (Fig. 104).

	<i>N</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Media</i>	<i>SD.</i>
<i>DAT-Pre</i>	101	22	60	43,82	9,56
<i>DAT-Pos</i>	77	27	60	49,79	8,13
<i>Gain DAT</i>	69	-3	27	6,57	6,00

Tab. 37. Puntuaciones medias y ganancias. DAT-SR

<i>Aciertos</i>	<i>DAT-Pre</i>		<i>Dat-Pos</i>	
	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
≤ 30	10	9,9	3	3,9
31-35	7	6,9	3	3,9
36-40	19	18,8	2	2,6
41-45	20	19,8	12	15,6
46-50	17	16,8	12	15,6
51-55	15	14,9	25	32,5
56-60	13	12,9	20	26,0
<i>Total</i>	101	100,0	77	100,0

Tab. 38. Porcentaje de aciertos por intervalos. DAT-SR

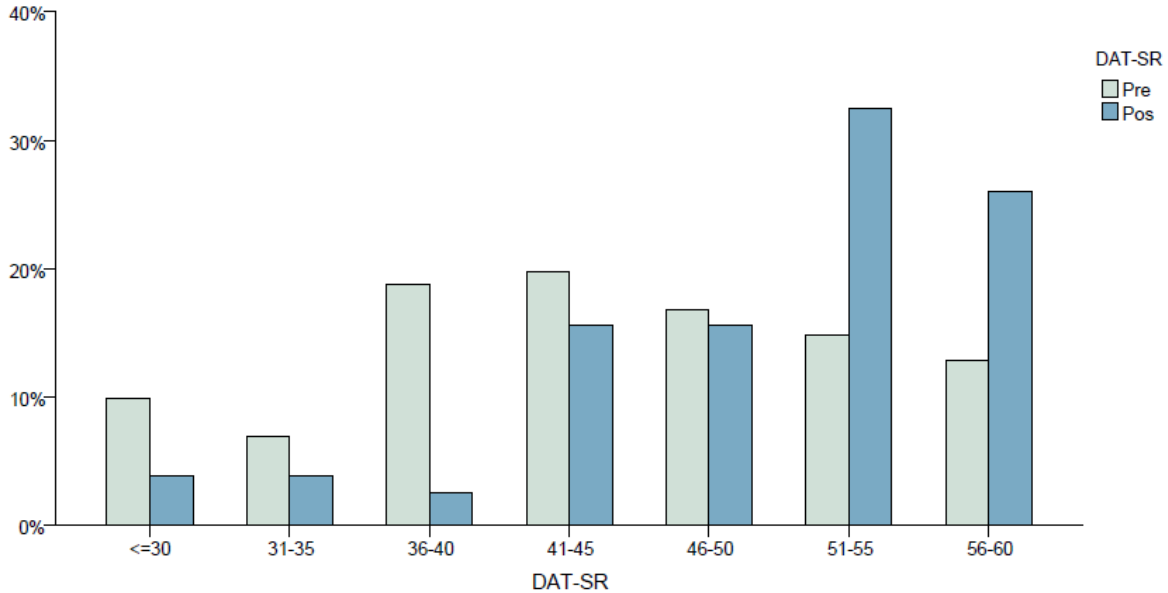


Fig. 104. Porcentaje de aciertos por intervalos. DAT-SR

Los ítems más difíciles (obtuvieron menor porcentaje de aciertos) y los más fáciles (menor porcentaje de aciertos) se han representado en la Fig. 105. Los comentarios de los alumnos en las entrevistas personales reflejaron su inseguridad con los dos ítems donde la figura es un libro. El ítem 8 también provocó muchos errores, en contra de lo previsto.

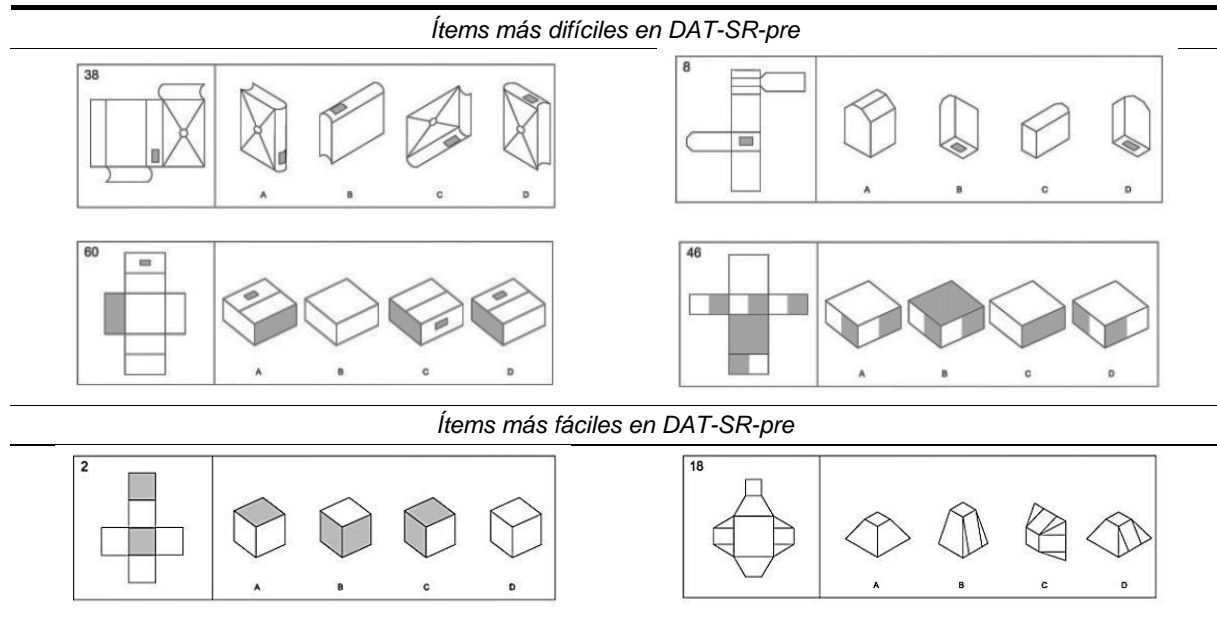


Fig. 105. Ítems más difíciles y más fáciles. DAT-SR

4.5.2 PSVT:R

La puntuación mínima en PSVT:R fue 11 y la máxima 30 (puntuación total) (Tab. 39). Los resultados fueron muy buenos, en general. En la prueba inicial, el 36,4% de los alumnos obtuvo una puntuación ≥ 25 . Este porcentaje aumentó a 65,5% en la prueba final (Tab. 40 y Fig. 106).

	<i>N</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Media</i>	<i>SD</i>
<i>PSVT-Pre</i>	99	11	30	22,54	4,78
<i>PSVT-Pos</i>	58	17	30	25,45	3,34
<i>Gain PSVT</i>	54	-2	13	2,67	3,33

Tab. 39. Puntuaciones medias y ganancias. PSVT:R

<i>Aciertos</i>	<i>PSVT-Pre</i>		<i>PSVT-Pos</i>	
	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
≤ 12	2	2,0	0	0
12-15	7	7,1	0	0
16-18	12	12,1	3	5,2
19-21	16	16,2	5	8,6
22-24	26	26,3	12	20,7
25-27	19	19,2	20	34,5
28-30	17	17,2	18	31,0
<i>Total</i>	99	100,0	58	100,0

Tab. 40. Porcentaje de aciertos por intervalos. PSVT:R

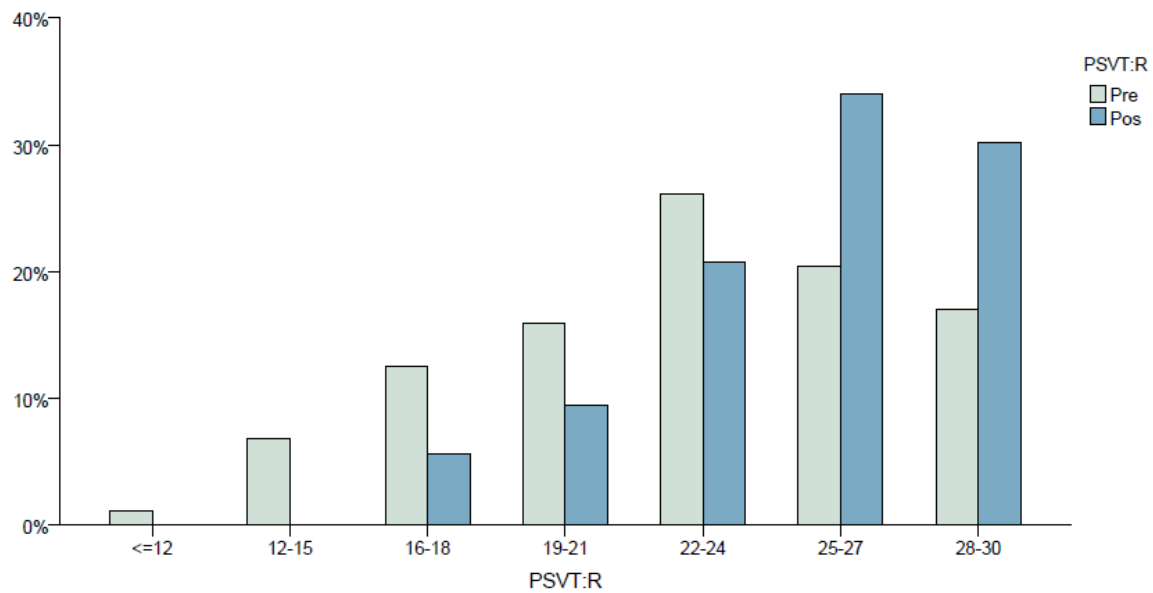


Fig. 106. Porcentaje de aciertos por intervalos. PSVT:R

Los ejercicios que peor resolvieron los alumnos: el 30, 29 y 25, requieren dos giros. Además las perspectivas son confusas (porque coinciden diferentes aristas en la isometría y las figuras contienen planos inclinados).

Los ejercicios que mejor resolvieron comprenden un solo giro.

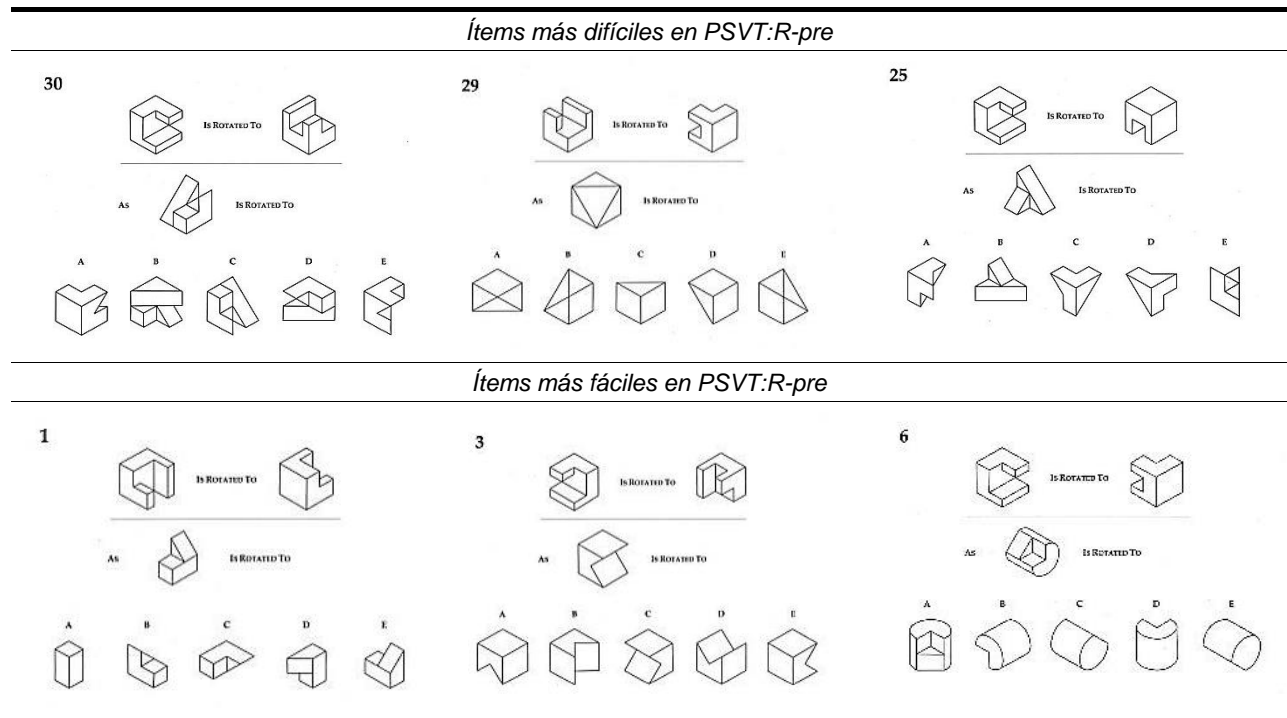


Fig. 107. Ítems más difíciles y más fáciles. PSVT:R

4.5.3 MCT

La puntuación mínima fue 5 y la máxima en el test inicial 24. El porcentaje de alumnos que obtuvo una puntuación ≥ 17 en el inicial fue del 40%. En el test final aumentó al 56,4%. En el gráfico comparativo (Fig. 108) puede apreciarse que en el test inicial, el mayor porcentaje de alumnos (24,8%) se concentra en el intervalo entre 14 y 16 aciertos, mientras que en el test final se concentran más (28,2%) entre 20 y 22 aciertos.

	<i>N</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Media</i>	<i>SD</i>
<i>MCT-Pre</i>	105	5	24	15,25	4,45
<i>MCT-Pos</i>	71	5	25	16,89	4,84
<i>Gain MCT</i>	66	-2	10	2,36	2,90

Tab. 41. Puntuaciones medias y ganancias. MCT

<i>Aciertos</i>	<i>MCT-pre</i>		<i>MCT-pos</i>	
	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
≤ 7	4	3,8	3	4,2
8-10	14	13,3	6	8,5
11-13	19	18,1	10	14,1
14-16	26	24,8	12	16,9
17-19	23	21,9	13	18,3
20-22	12	11,4	20	28,2
23-25	7	6,7	7	9,9
<i>Total</i>	105	100,0	71	100,0

Tab. 42. Porcentaje de aciertos por intervalos. MCT

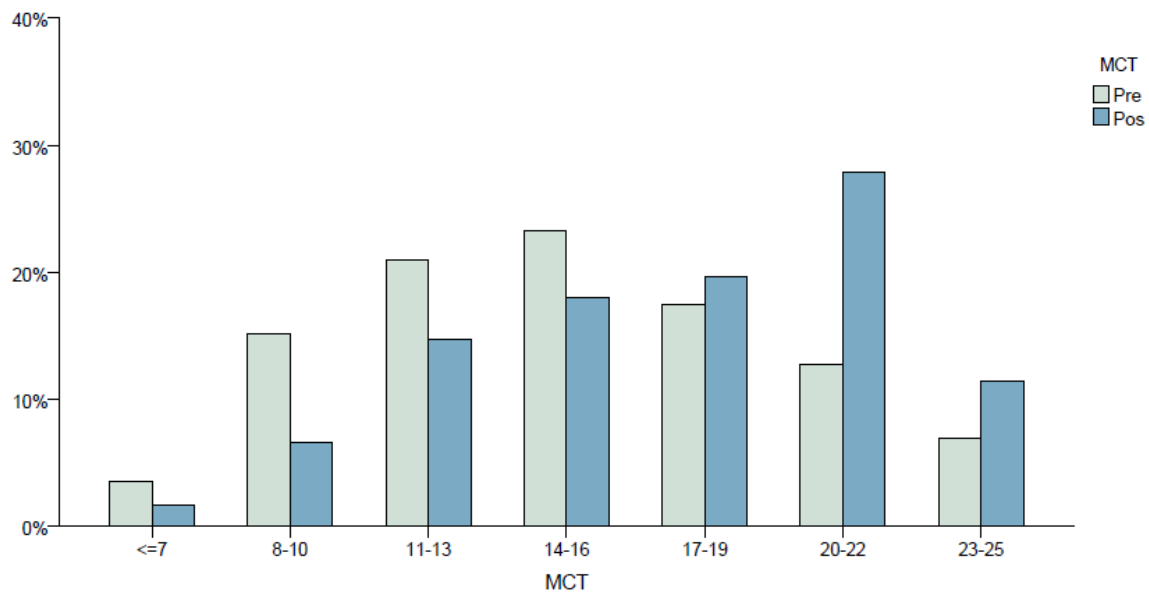


Fig. 108. Porcentaje de aciertos por intervalos. MCT

Después de realizar un primer análisis de los test iniciales, se apostó por el Mental Cutting Test (MCT) como mejor relacionado con las habilidades espaciales generales necesarias para ingeniería gráfica.

En el capítulo 3 (procedimiento experimental) se ha explicado que se solicitó la colaboración de los profesores del departamento (Expresión Gráfica en la Ingeniería), para que sus alumnos hicieran el test y la encuesta de variables on-line.

Además se envió a familiares y amigos y se les pidió que lo difundieran. En este caso las variables recogidas fueron: Sexo, edad, ¿Cómo calificarías tu capacidad de visión espacial?, ¿Qué estás estudiando o qué estudios o profesión tienes?, ¿Experiencia con algún programa de CAD 3D?, ¿Practicas deporte habitualmente?, ¿Juegas con Videojuegos?, Diestro o zurdo, ¿jugabas habitualmente con juegos de construcción?

En la Tab. 43 y en la Fig. 109 se han comparado los resultados en las puntuaciones de MCT de todos los grupos testeados:

- MCT-EXT (N=233): Grupo heterogéneo de personas exteriores a la UPC, de diferentes ámbitos estudiantiles o profesionales y diferentes edades.
- MCT-pre (N=105): Grupo de estudiantes de primer curso de Ingeniería de la ETSEIB, que cursaban la asignatura Expresión Gráfica. Test realizado a inicio de curso.
- MCT-pos (N=71): Grupo de estudiantes de primer curso de Ingeniería de la ETSEIB, que cursaban la asignatura Expresión Gráfica. Test realizado a final de curso.

- MCT-ING (N=142): Grupo de estudiantes de asignaturas gráficas en diferentes grados de ingeniería de la UPC. Test realizado a final de curso. En este grupo está incluido el grupo anterior (MCT-pos)

En la pág. 52 consta la diferencia de género significativa en MCT (MCT-*pre*: Dif.medias=10,8%, $p < 0,05$, MCT-*pos*: Dif.medias=14,8%, $p < 0,01$). La diferencia es superior en la prueba final, confirmando los resultados de Németh (2007), que comprobó también que después de estudiar geometría descriptiva, los hombres habían mejorado más que las mujeres. Sin embargo, Sorby (2009) y Alias y otros (2002) informaron que después del entrenamiento, ambos sexos habían mejorado igual. De todas maneras, la diferencia de ganancias tampoco es significativa en este estudio. En la Tab. 43 constan las puntuaciones medias y los porcentajes de aciertos en hombres y mujeres.

	<i>Total</i>				<i>Mujeres</i>				<i>Hombres</i>			
	<i>MCT EXT</i>	<i>MCT Pre</i>	<i>MCT Pos</i>	<i>MCT ING</i>	<i>MCT EXT</i>	<i>MCT Pre</i>	<i>MCT Pos</i>	<i>MCT ING</i>	<i>MCT EXT</i>	<i>MCT Pre</i>	<i>MCT Pos</i>	<i>MCT ING</i>
<i>N</i>	233	105	71	142	122	28	23	39	111	77	48	103
<i>Media</i>	11,63	15,25	16,89	17,09	10,16	13,32	14,35	15,44	13,24	15,95	18,10	17,72
<i>SD</i>	(5,90)	(4,45)	(4,84)	(4,72)	(5,21)	(4,32)	(5,11)	(5,07)	(6,21)	(4,31)	(4,24)	(4,45)
<i>Número de aciertos. Porcentajes</i>												
	<i>Total</i>				<i>Mujeres</i>				<i>Hombres</i>			
	<i>MCT EXT</i>	<i>MCT Pre</i>	<i>MCT Pos</i>	<i>MCT ING</i>	<i>MCT EXT</i>	<i>MCT Pre</i>	<i>MCT Pos</i>	<i>MCT ING</i>	<i>MCT EXT</i>	<i>MCT Pre</i>	<i>MCT Pos</i>	<i>MCT ING</i>
<i>1-4</i>	9	0	0	0	12	0	0	0	5	0	0	0
<i>5-7</i>	19	4	4	1	24	11	9	3	14	1	2	1
<i>8-10</i>	22	13	8	9	21	14	22	18	23	13	2	6
<i>11-13</i>	18	18	14	15	19	25	17	21	17	16	13	13
<i>14-16</i>	9	25	17	18	10	25	22	18	8	25	15	18
<i>17-19</i>	9	22	18	18	8	18	13	18	10	23	21	18
<i>20-22</i>	9	11	28	25	5	4	13	13	14	14	35	29
<i>23-25</i>	5	7	10	13	2	4	4	10	9	8	13	15
<i>Total</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tab. 43. Comparativo de puntuaciones en MCT. MCT-EXT (población heterogénea), MCT-Pre (Estudiantes ETSEIB inicio curso), MCT-Pos (Estudiantes ETSEIB final curso), MCT-ING (estudiantes de ingenierías de varias escuelas de UPC)

Puede observarse la diferencia de resultados entre las 4 poblaciones en las que se ha pasado el test MCT (Fig. 109). Las puntuaciones más altas corresponden a los estudiantes de ingeniería repartidos entre diferentes escuelas de la UPC. Hay que considerar que, al ser voluntario, posiblemente hicieron el test aquellos a los que les resultaba más interesante. Todos habían cursado expresión gráfica, ya que se hizo a final de curso.

Las peores puntuaciones corresponden, como era de esperar al test que se hizo fuera del entorno de ingeniería (EXT). Pasar este test ha resultado ser una experiencia interesante para recoger comentarios de los participantes. A la mayoría de ellos les resultaba muy difícil. Algunos comentaron que eran incapaces de hacerlo. Otros se sorprendían del bajo número de respuestas acertadas. Fue clave para conseguir 233 operaciones el hecho de que los participantes recibieran el resultado (sin soluciones, simplemente la puntuación y en qué ítems habían fallado). Produjo un efecto competitivo que fomentó la participación. Como se observa en la Fig. 109, los porcentajes de participantes que acertaron 20 o más respuestas no difieren demasiado de los alumnos al inicio de curso (MCT-Pre). Esto es debido a que se produjo un cierto “pique” entre dos grupos de amigos (uno de ingenieros y otro de arquitectos), que subieron el nivel inicial. De hecho, había 63 (23 mujeres y 40 hombres) participantes relacionados con la arquitectura o ingeniería (de los 198 que se pudieron clasificar por ámbito laboral o de estudios). La puntuación media de estos 63 fue 16,87 (SD=5,39), y la de los 135 restantes fue 10,20 (SD=4,90)

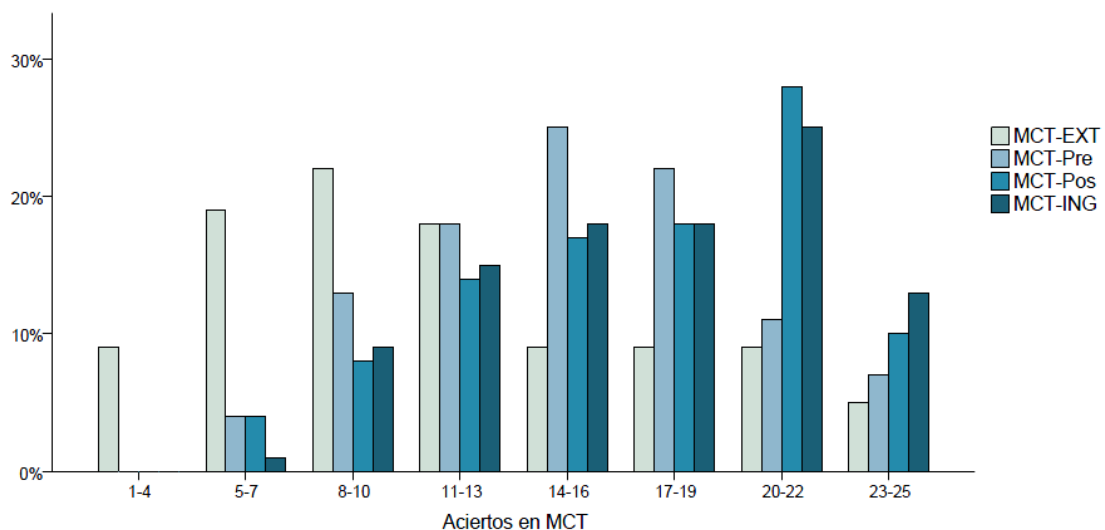


Fig. 109. Comparativo de aciertos en MCT. MCT-EXT (población heterogénea), MCT-Pre (Estudiantes ETSEIB inicio curso), MCT-Pos (Estudiantes ETSEIB final curso), MCT-ING (estudiantes de ingenierías de varias escuelas de UPC)

En las cuatro poblaciones estudiadas, existe diferencia de género significativa a favor de los hombres, a pesar de que no se han encontrado diferencias en las estrategias aplicadas.

En MCT-EXT la diferencia de género es ($p < 0,001$, dif.medias=3,08) (Prueba de U Mann-Whitney porque la variable cuantitativa no cumple normalidad). Sin embargo si se separan el grupo de ingenieros/arquitectos del resto, en el de ing/arq no hay correlación significativa ($p > 0,05$), mientras que en el otro sí ($p < 0,05$).


























Existe correlación también con otras variables en el test MCT-EXT: haber jugado con juegos de construcción ($p < 0,001$) y experiencia en CAD 3D ($p < 0,001$), posiblemente relacionadas con la profesión. Se han clasificado también los estudios o profesiones en ciencias/letras y existe una diferencia significativa ($p < 0,001$). Se ha encontrado también correlación con el autoinforme sobre la capacidad espacial ($r_s = 0,50$, $p < 0,001$).

No se ha encontrado relación con edad, lateralidad, practicar más o menos deporte o jugar a videojuegos. Los menores de 18 años ($N = 39$, entre 13 y 17 años), obtuvieron una media de $M = 8,487$ ($SD = 4,71$), inferior al resto. Este dato puede corroborar la teoría de Piaget de que en la *tercera etapa* de desarrollo (aproximadamente entre 14 y 18 años), se adquiere la capacidad de combinar conceptos de medidas con las habilidades proyectivas.

En MCT-ING, también existe diferencia significativa de género ($p < 0,01$)

Como se ha mencionado con anterioridad, los ítems de la prueba MCT pueden clasificarse en ejercicios de forma y ejercicios de dimensiones. En los primeros, las soluciones se determinan mediante la identificación de únicamente la forma de la sección. En los ejercicios de dimensiones, las soluciones se identifican no sólo por la forma de la sección, sino también de sus dimensiones (longitudes de los lados y ángulos). No se han detectado diferencias significativas entre los aciertos de uno y otro tipo de ejercicios.

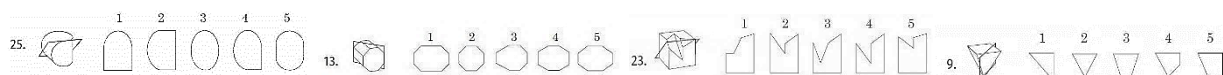
En la tabla Tab. 44 se ha representado el porcentaje de aciertos para cada ítem de MCT en las diferentes poblaciones estudiadas. Se han ordenado de menor a mayor dificultad

Porcentaje de Aciertos							
ítem	Pre	EXT	Diferenc Pre-EXT	Pos	ING	Gan. (pos-pre)	
	N=105	N=233		N=71	N=142	N=66	
3	96	80	16	94	93	-2	3.  1 2 3 4 5
11	90	63	27	89	82	-1	11.  1 2 3 4 5
6	82	57	25	82	80	0	6.  1 2 3 4 5
1	81	67	14	83	87	2	1.  1 2 3 4 5
8	79	61	18	79	85	0	8.  1 2 3 4 5
5	78	65	13	85	89	6	5.  1 2 3 4 5
4	76	54	22	89	87	13	4.  1 2 3 4 5
2	71	62	10	80	84	9	2.  1 2 3 4 5
18	71	41	31	70	72	-1	18.  1 2 3 4 5
12	70	49	22	73	77	3	12.  1 2 3 4 5
7	67	44	22	85	82	18	7.  1 2 3 4 5
20	67	48	19	73	67	7	20.  1 2 3 4 5
16	59	48	11	69	70	10	16.  1 2 3 4 5
22	59	41	18	63	61	4	22.  1 2 3 4 5
19	58	41	17	65	61	7	19.  1 2 3 4 5
21	55	37	18	61	58	5	21.  1 2 3 4 5
24	55	36	20	52	57	-3	24.  1 2 3 4 5
17	54	37	17	56	64	2	17.  1 2 3 4 5
15	52	48	5	58	62	5	15.  1 2 3 4 5
10	49	43	5	52	59	40	10.  1 2 3 4 5
14	43	31	12	62	63	19	14.  1 2 3 4 5
9	36	34	2	46	44	10	9.  1 2 3 4 5
23	29	26	2	31	34	2	23.  1 2 3 4 5
13	26	26	0	45	50	19	13.  1 2 3 4 5
25	21	25	-4	26	42	5	25.  1 2 3 4 5

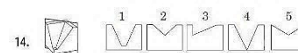
Tab. 44. Dificultad de Ítems MCT. Ordenados de menor a mayor dificultad

En todas las poblaciones estudiadas, claramente el ítem más fácil es el 3, cuya sección es un rectángulo.

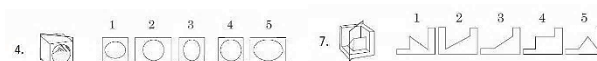
Si se analizan las características de los ítems con peores resultados, parece evidente la dificultad del ítem 25, que consiste en una figura que no es fácil de interpretar, formada por superficies curvas cortada por un plano inclinado. Los ítems 13 y 23 son ejercicios donde es importante interpretar las verdaderas dimensiones para seleccionar la opción correcta. No se ha podido deducir ninguna diferencia clara entre los ítems más fáciles y más difíciles.



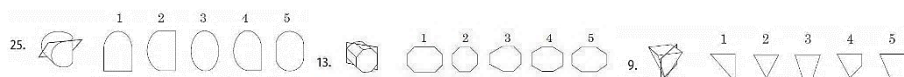
En el análisis de las ganancias entre los test *pre* y *pos*, sorprende el ítem 14. En MCT-*pre* y MCT-EXT está en los puestos 21 y 22 respectivamente. En los test finales (MCT-*pos* y MCT-ING) sube a las posiciones 16 y 15. En el test *pos* lo acertaron un 19% más de alumnos que en el test *pre*. Es una figura que se aprecia bien en la perspectiva dada, no hay elementos ocultos importantes. Parece que la diferencia de resultados entre *pre* y *pos* corresponde a una mejora de razonamiento espacial y de análisis geométrico.



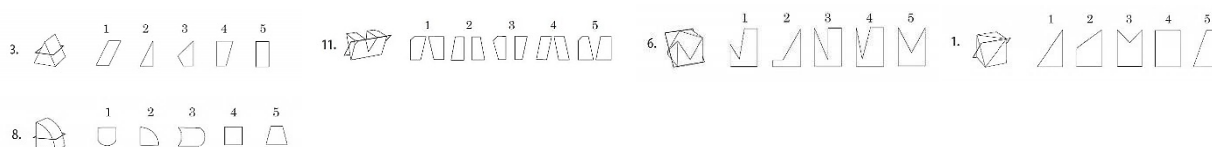
Después de cursar la asignatura, avanzan también muchos puestos el ranking, además del ítem 14, el ítem 4 (Gan=13%) de 7-8 a 2-3 y el ítem 7 (Gan=18%), de 11-13 a 4-8.



La mejora fue también considerable en los ítems 25 (Gan= 26%), 13 (Gan=19%) y 9 (Gan=10%). En estos tres ítems, a principio de curso el porcentaje de aciertos fue prácticamente igual que en MCT-EXT. Es difícil deducir a qué proceso cognitivo puede achacarse la mejora. Posiblemente el más importante sea interpretar bien el objeto y la posición del plano.



Lógicamente, los 5 ítems que habían obtenido las mejores puntuaciones en MCT-*pre* no mejoran prácticamente nada.



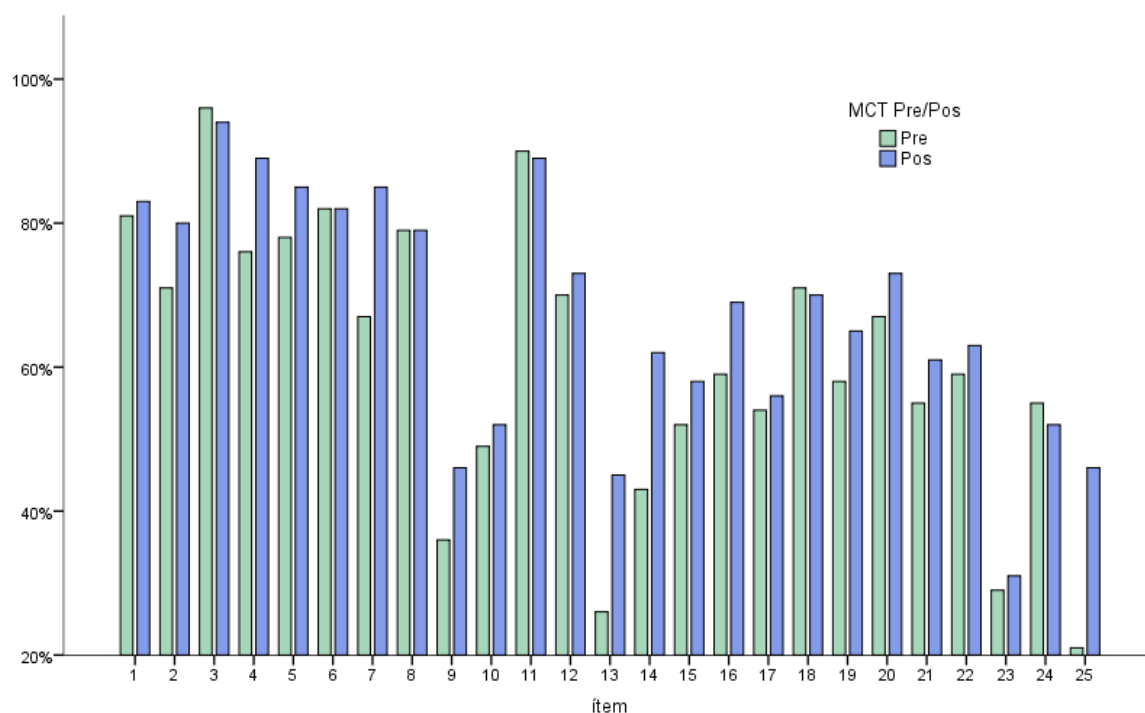


Fig. 110. Diferencias de porcentajes de aciertos en ítems de MCT-pre y MCT-pos

En el anexo se han incluido tablas y gráficos de los resultados obtenidos en las pruebas, comparándolos por las variables que tienen más incidencia en los resultados: género y haber estudiado dibujo previamente o no.

4.6 CORRELACIONES ENTRE NOTAS Y TEST

Uno de los objetivos de este trabajo es determinar si los test de habilidades espaciales DAT-SR, PSVT:R y MCT pueden ayudar a predecir el resultado académico en los diferentes bloques temáticos de la asignatura Expresión Gráfica. Los resultados permitirán detectar los alumnos con pobres habilidades espaciales y programar actividades didácticas para mejorarlas.

La asignatura Expresión Gráfica se imparte con el software de modelado 3D “SolidWorks” y comprende los siguientes bloques temáticos: modelado 3D + planos (27h) y geometría espacial: poliedros (23h) y superficies (24h). Los tres módulos se evalúan con las pruebas P1, P2 y P3 (en anexo). La nota final es $[NF=0,3 \cdot P1 + 0,35 \cdot P2 + 0,3 \cdot P3]$.

4.6.1 TEST INICIALES

En la Tab. 45 constan las correlaciones entre los test y las evaluaciones de la asignatura. La prueba P3 se ha despreciado porque las notas fueron muy altas y se descartaba normalidad (box-plot, curtosis, asimetría y test de KS).

		Nota P1	Modelado	Nota P2	Nota Final
DAT-Pre	Correlación de Pearson	,364**	,429**	,308**	,354**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,002	,000
	N	100	83	98	96
PSVT-Pre	Correlación de Pearson	,220*	,352**	,309**	,343**
	Sig. (bilateral)	,028	,001	,002	,001
	N	99	84	96	93
MCT-Pre	Correlación de Pearson	,281**	,412**	,364**	,389**
	Sig. (bilateral)	,004	,000	,000	,000
	N	105	91	101	96

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Tab. 45. Correlaciones entre los test iniciales y las diferentes notas de la asignatura

El test peor relacionado con las diferentes notas de la asignatura es PSVT:R. Este dato confirma que las pruebas de rotación mental tienen menos impacto que otras pruebas de

habilidad espacial en el rendimiento de cursos de expresión gráfica (Leopold y otros, 2001; Adanez y Velasco, 2002; Torner y otros, 2014).

Adanez y Velasco (2002) observaron también que la media en MCT de los estudiantes con un rendimiento insuficiente en la asignatura de dibujo técnico, era significativamente menor que en los otros grupos. Podía afirmarse que es un instrumento adecuado de diagnóstico para identificar de entrada a los estudiantes con dificultades para cursar con éxito la asignatura.

Branoff y Carolina (2014) comprobaron también correlaciones positivas significativas entre las tareas de modelado en 3D y las pruebas PSV:R y MCT.

Leopold y otros (2001) pasaron los test MRT, MCT y DAT-SR en estudiantes de ingeniería de tres universidades y comprobaron un alto grado de correlación entre los resultados de los estudiantes en cada una de las tres pruebas. Sus resultados mostraron que la puntuación en MCT inicial fue un predictor significativo de la puntuación del examen final en cada una de las tres universidades. La puntuación inicial en MRT fue un predictor significativo de éxito en 2 universidades, pero no en la otra. La puntuación en DAT-SR fue significativa (o marginalmente significativo) en cada universidad, sin embargo, la importancia de esta calificación de la prueba no fue tan alta como en MCT.

Los resultados de este estudio confirman los descritos. MCT puede ser la prueba más útil para detectar estudiantes con problemas en el rendimiento de la asignatura. Las tres pruebas tienen una correlación positiva moderada con las notas finales, pero la mejor correlacionada es MCT ($r=0,39$, $p<0,001$). Similar a la correlación obtenida por Adanez y Velasco (2002) entre MCT y un examen de dibujo técnico ($r=0,34$, $p<0,001$). Y similar también a la definida por Leopold y otros (2001) entre MCT y el examen final de la asignatura de ingeniería gráfica (r entre 0,28 y 0,45, $p<0,001$).

En la tabla Tab. 46 se especifican las significancias de los modelos de regresión y en la Fig. 111 se dibujan las rectas. La recta de regresión que relaciona Nota Final (NF) con MCT-pre es: $NF = 1,355 * (MCT-pre) + 48,254$. $R^2=0,152$

R cuadrado	Nota P1	Nota modelo	Nota P2	Nota Final
DAT-SR pre	0,132 $P<0,001$	0,184 $P<0,001$	0,095 $P<0,01$	0,125 $P<0,001$
PSVT:R pre	0,049 $P<0,05$	0,124 $P<0,01$	0,096 $P<0,01$	0,117 $P<0,01$
MCT pre	0,079 $P<0,01$	0,169 $P<0,001$	0,132 $P<0,001$	0,152 $P<0,001$

Tab. 46. R cuadrado en modelos de Regresión Test iniciales / Notas de la asignatura

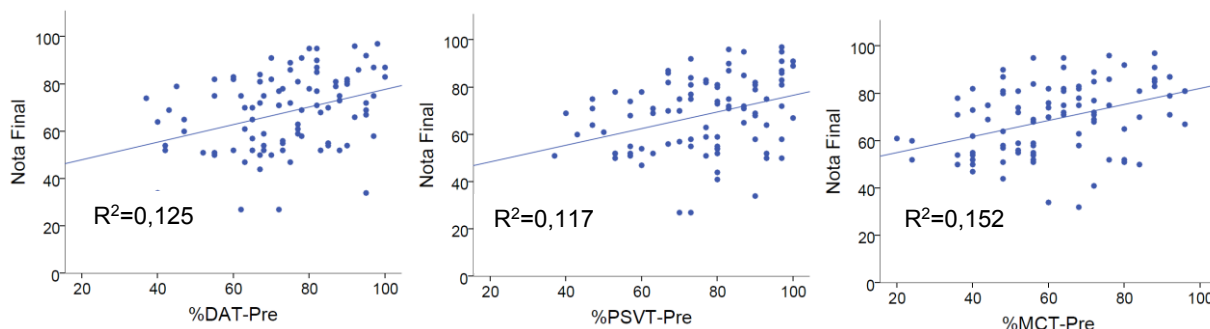


Fig. 111. Rectas de regresión Test iniciales / Nota Final de asignatura

El test DAT-SR es el mejor relacionado con el módulo de *Modelado de piezas y Planos* ($r=0,36$, $p<0,001$). Si se valora sólo el *Modelado* (sin planos), DAT-SR y MCT tienen correlaciones muy similares: DAT-SR ($r=0,43$, $p<0,001$) y MCT ($r=0,41$, $p<0,001$).

Branoff y Dobelis (2013) comprobaron también que MCT tiene una relación más fuerte con la capacidad de *Modelado 3D* que PSVT:R. Los requisitos de imaginar una sección en MCT son similares a los necesarios para modelar partes complejas en 3D. Aunque las rotaciones mentales se aplican en el modelado, no son tan importantes como definir la geometría de las secciones. Obtuvieron una correlación con MCT ($r_s=0,466$, $p<0,05$), consistente con sus resultados de otra investigación que habían realizado en 2012. Steinhauer (2012) obtuvo correlaciones (no se especifica si Pearson o Spearman de $r=0,32$ y $0,36$, $p<0,01$).

Puede influir también en que PSVT:R no sea un buen discriminador, el hecho de que se obtienen puntuaciones bastante altas, como ya habían mencionado Branoff y Carolina (2014). En MCT las diferencias entre alumnos son mayores.

En *Geometría Espacial (poliedros, P2)*, la mayor correlación se consigue con MCT ($r=0,36$, $p<0,001$). MCT es una prueba de análisis geométrico: entender las relaciones espaciales entre los elementos del sólido y con el plano de corte. DAT-SR y PSVT:R requieren también un análisis geométrico, pero están más condicionadas por un proceso dinámico (plegado mental y rotación mental). Se ha observado en el estudio realizado sobre las estrategias empleadas en la resolución de los test, que la mayoría de los estudiantes que obtuvieron mejores puntuaciones en MCT, no hacían una rotación mental de la sección; ya la imaginaban en magnitud real.

El efecto de la enseñanza de la geometría descriptiva tiene una correlación positiva con las puntuaciones en el test MCT (Németh, 2007; Veurink y otros, 2009; Li, 2014). Sin embargo, la enseñanza de dibujo mecánico es correlativamente débil (Li, 2014). El estudio de Geometría

Descriptiva, no sólo aumenta la capacidad de reconocimiento espacial intuitiva, sino también algo de capacidad de pensamiento lógico, porque algunos de los problemas del MCT sin duda requieren un proceso de juicio lógico (Tsutsumi y otros, 2005).

4.6.2 TEST FINALES

Los resultados de los test finales se concentran más en las puntuaciones altas. El mejor relacionado con la nota final de la asignatura es *MCT* ($r=0,46, p<0,001$) (Tab. 47). Puede afirmarse, por tanto, que de los tres, *es el que mejor valora los requisitos necesarios*. Sugiere que las habilidades requeridas en expresión gráfica están más relacionadas con la habilidad de cortar mentalmente un sólido por un plano que con el plegado mental o rotación mental.

Si se considera todos los alumnos de ingeniería que hicieron el test MCT al final de curso, ($r=0,42, p<0,001$)

		DAT-Pos	PSVT-Pos	MCT-Pos
	Correlación de Pearson	,374**	,370**	,455**
Nota Final	Sig. (bilateral)	,001	,005	,000
	N	76	57	69

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Tab. 47. Correlaciones entre los test finales y la nota final en la asignatura

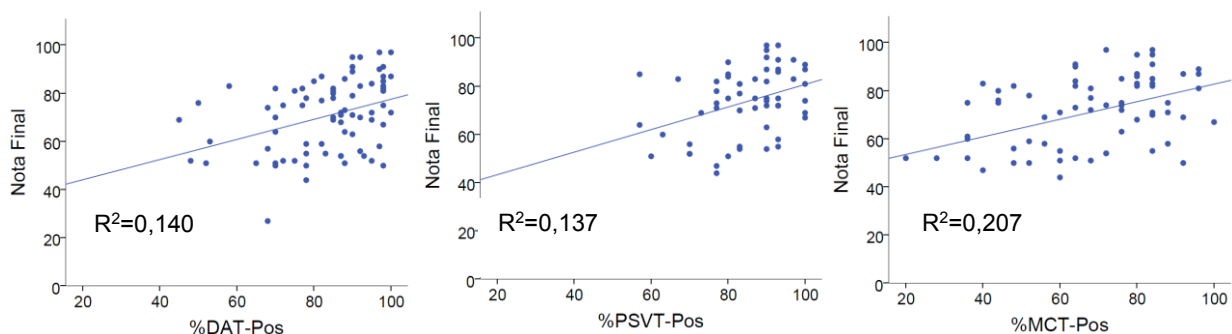


Fig. 112. Rectas de regresión Test finales / Nota final de la asignatura

4.7 MEJORÍA DE LAS HABILIDADES ESPACIALES DESPUÉS DE CURSAR

EXPRESIÓN GRÁFICA

Se aprecia un claro aumento en las puntuaciones de los test finales, que nos lleva a concluir que la metodología de la enseñanza utilizada en la asignatura favorece el incremento de las habilidades espaciales. Las ganancias están entre el 8,8% y el 10,9% del total de la puntuación (Tab. 48). Si se considera el incremento respecto a la puntuación inicial, MCT mejora más de promedio (15,6%). La significancia de las ganancias se comprobó con la prueba T para muestras relacionadas y Wilcoxon ($p < 0,01$).

En la página 153 se expusieron los resultados medios en los tres test y se representaron los box-plot de cada uno de ellos. En los box-plot de la Figura FIG. 113 puede apreciarse que la distribución en las ganancias es menos simétrica que en los test. La línea de la mediana está por debajo de la media en todos los casos. Las desviaciones estándar son superiores a las medias en los test PSVT:R y MCT, y prácticamente igual en DAT-SR. Este dato indica que no todos los alumnos han obtenido el mismo provecho de la asignatura para desarrollar sus habilidades espaciales. Por otro lado, es evidente que cuanto peor son las habilidades espaciales de entrada, más pueden mejorarse.

<i>Puntuaciones medias (%) (SD)</i>								
<i>DAT-SR</i>			<i>PSVT:R</i>			<i>MCT</i>		
Pre N=101	Pos N=77	Gan N=69	Pre N=99	Pos N=58	Gan N=54	Pre N=105	Pos N=71	Gan N=66
73,1 (15,9)	83,0 (13,6)	10,9 (10,0)	75,1 (16,0)	84,8 (11,1)	8,8 (11,1)	61,0 (17,8)	67,6 (19,4)	9,5 (11,6)

Tab. 48. Puntuaciones medias (%) y ganancias absolutas

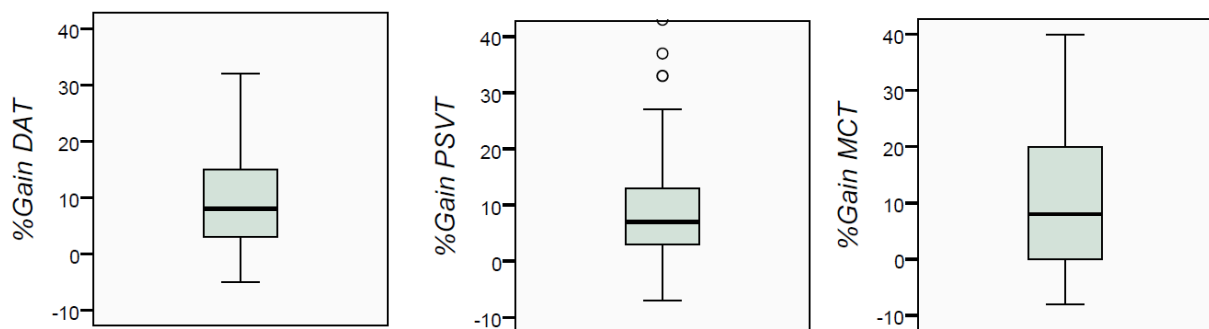


Fig. 113. Box-plot de ganancias absolutas. Puntuación (%) de test-pos – puntuación (%) de test-pre

Ganancia (%)	Porcentaje de alumnos		
	DAT-SR (N=69)	PSVT:R (N=54)	MCT (N=66)
Nada	13,0	24,1	33,3
0,1-10	42,1	46,3	22,8
10,1-20	31,9	16,6	25,7
20,1-30	7,2	5,6	13,7
>30	5,8	7,4	4,5
Total	100	100	100

Tab. 49. Porcentaje de alumnos por intervalo de ganancias

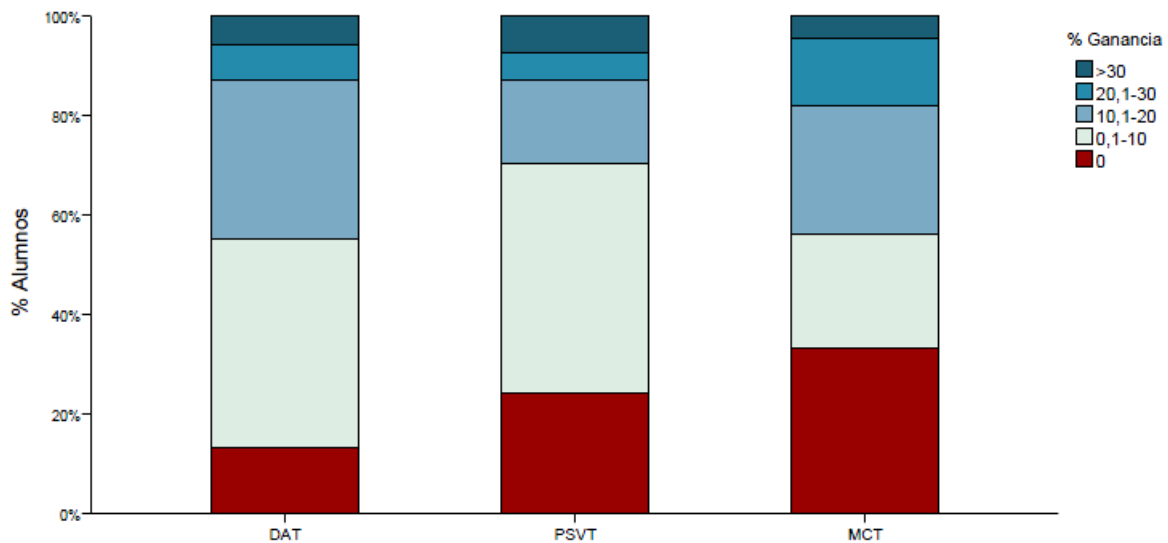


Fig. 114. Porcentaje de alumnos por intervalo de ganancias

No existe correlación entre las mejorías en los diferentes test. Es decir, las ganancias en las puntuaciones entre los test DAT-SR, PSVT:R y MCT finales e iniciales, no estaban relacionadas para un mismo alumno.

Las correlaciones entre los test iniciales y las ganancias (prueba T de muestras relacionadas) son: DAT-SR ($r = -0,58$, $p < 0,001$), PSVT:R ($r = -0,73$, $p < 0,001$), MCT ($r = -0,32$, $p < 0,01$). En la Tabla TAB. 50 se muestran las medias de los test iniciales para cada intervalo de ganancias:

Ganancia (%)	Medias en test iniciales (SD)		
	DAT-SR (N=69)	PSVT:R (N=54)	MCT (N=66)
Nada	89,22 (8,67)	92,92(7,64)	64,36 (22,15)
0,1-10	76,0 (15,38)	77,64 (11,43)	68,00 (16,07)
10,1-20	69,77 (10,32)	64,67 (11,06)	52,94 (16,77)
20,1-30	62,4 (12,58)	62,33 (8,08)	51,11 (13,82)
>30	51,50 (14,30)	54,25 (9,91)	44,00 (6,93)

Tab. 50. Puntuaciones medias (%) en test-pre por intervalo de ganancias

Lógicamente, en general, los alumnos que obtuvieron peores resultados en la prueba inicial, mejoraron más.

En las tres pruebas se obtienen ganancias importantes después de cursar la asignatura. En DAT-SR y PSVT:R las puntuaciones son bastante altas ($M > 83\%$, $SD < 14$). En MCT los resultados no son tan buenos y las diferencias entre alumnos son mayores ($M = 67,6\%$, $SD = 19,4$). Este dato también puede condicionar que la correlación sea mejor con MCT.

Un 67% de alumnos mejoraron en MCT. En el test DAT el porcentaje fue superior 87%. Sin embargo, si se contabilizan el número de alumnos que ganaron más de un 10% de puntuación, el porcentaje es muy similar en DAT y MCT (44,9 y 43,9% respectivamente) y se reduce en PSVT:R al 29,6%.

Ya se ha comentado que el hecho de realizar el pos-test a final de curso, cuando los alumnos están saturados de trabajo, puede condicionar su interés y el resultado. Si se consideran los 47 alumnos que hicieron todos los test, los porcentajes son muy similares.

Las ganancias obtenidas se han comparado con los resultados de otras investigaciones que estudiaron las diferencias de puntuaciones después de cursar una asignatura gráfica cuatrimestral. Únicamente se han considerado aquellos en los que las puntuaciones medias de los test iniciales fueron similares a las de este estudio.

Las mejorías después de cursar Expresión Gráfica son muy similares a las descritas por Torner (2009) y Contero y otros (2006) en la prueba DAT-SR; similares a las de Mataix (2014) y superiores a Connolly (2009) en PSVT:R y similares a Leopold y otros (2001) en MCT.

4.8 CORRELACIONES ENTRE DAT-SR, PSVT:R Y MCT

La mayor correlación (Pearson) se encuentra entre los test DAT-pre y PSVT:R-pre ($r = 0,615$, $p < 0,001$) (Tab. 51). Concuerda con la teoría de Harris y otros (2013), referente a que las habilidades de plegado mental y rotación mental tienen grandes similitudes.

Los resultados son similares a los obtenidos por otros investigadores: Leopold y otros (2001) habían encontrado una correlación (no consta si Pearson o Spearman) entre DAT y MCT de 0,42 a 0,59, $p < 0,001$. Kelly (2013) entre MCT y PSVT:R ($r_{\text{spearman}} = 0,599$). Sorby en 1999 $r_{\text{pearson}} = 0,528$.

		DAT-Pre	PSVT-Pre	MCT-Pre
DAT-Pre	Correlación de Pearson	1	,615**	,510**
	Sig. (bilateral)		,000	,000
	N	101	88	86
PSVT-Pre	Correlación de Pearson	,615**	1	,555**
	Sig. (bilateral)	,000		,000
	N	88	99	93
MCT-Pre	Correlación de Pearson	,510**	,555**	1
	Sig. (bilateral)	,000	,000	
	N	86	93	105

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Tab. 51. Correlaciones entre test iniciales

		DAT-Pos	PSVT-Pos	MCT-pos
DAT-Pos	Correlación de Pearson	1	,590**	,672**
	Sig. (bilateral)		,000	,000
	N	77	53	61
PSVT-Pos	Correlación de Pearson	,590**	1	,610**
	Sig. (bilateral)	,000		,000
	N	53	58	54
MCT-Pos	Correlación de Pearson	,672**	,610**	1
	Sig. (bilateral)	,000	,000	
	N	61	54	71

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Tab. 52. Correlaciones entre test finales

Si se comparan las correlaciones entre los test finales (Tab. 52), MCT es el mejor correlacionado: $PSVT/MCT = 0,61$, $p < 0,001$; $DAT/MCT = 0,67$, $p < 0,001$. Sin embargo, en los test iniciales es el peor correlacionado. Podría pensarse que MCT está más relacionado con la experiencia en asignaturas gráficas y que al principio de curso esta diferencia puede distorsionar el resultado y al final de curso queda equilibrado. Pero, por otro lado, la diferencia entre los estudiantes que habían cursado dibujo y los que no lo habían hecho es todavía más importante en MCT-pos que en MCT-pre.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

El objetivo principal de esta tesis está orientado a mejorar la calidad de la docencia: proponer actividades en la asignatura Expresión Gráfica en Ingeniería, enfocadas a potenciar el desarrollo de las habilidades espaciales de los estudiantes, además de proporcionar la adquisición de contenidos necesarios.

Las actividades propuestas se recogen en el Capítulo 6.

En este capítulo se describen las conclusiones de esta tesis, dando respuesta a las preguntas planteadas y la consecución de objetivos. En un segundo apartado se proponen futuras líneas de investigación relacionadas.

5.1 CONCLUSIONES

Las conclusiones se han clasificado en cinco bloques. El primero de ellos responde, en general, a objetivos cubiertos a partir de la revisión y análisis de la literatura relacionada. El segundo, a la investigación realizada para averiguar las estrategias empleadas en la resolución de pruebas espaciales. El tercero al análisis de relaciones entre resultados y evaluaciones de la asignatura. El cuarto a las variables relacionadas con las habilidades espaciales. Y el quinto y último, a los criterios a seguir en la programación de actividades para potenciar el desarrollo de las habilidades espaciales.

En cada uno de estos bloques se especifican, antes de exponer las conclusiones, los objetivos cumplidos y las cuestiones a las que da respuesta.

5.1.1 CONCLUSIONES GENERALES

Objetivos cumplidos: *Conocer la investigación relacionada con las habilidades espaciales*, se describe en el Capítulo 2 (Estudio teórico y revisión bibliográfica); Identificar las metodologías desarrolladas para potenciar las HE

- Se ha evidenciado la importancia de las habilidades espaciales en dominios STEM para el éxito profesional y estudiantil. Y de forma especial en ingeniería. Se ha comprobado también su relación con la permanencia en la universidad. El desarrollo máximo de las habilidades espaciales se adquiere sobre los 18 años. Es importante que se potencien antes de esa edad. Los sistemas educativos de primaria y secundaria deberían contemplar programas que fomenten su desarrollo.

- Diferentes tipos de entrenamientos o actividades pueden desarrollar las habilidades espaciales: ejercicios tradicionales, estudio de geometría descriptiva, modelado en 3D, videojuegos, realidad aumentada, construcción de modelos físicos, aplicaciones web o herramientas sofisticadas....No se ha podido llegar a ninguna conclusión sobre qué tipo de estrategia es más efectiva. Es difícil la comparación objetiva; los alumnos con poca capacidad de visión espacial mejoran más, las duraciones de los entrenamientos difieren y las pruebas empleadas para medir las habilidades espaciales también.
- Se ha demostrado que la enseñanza en Expresión gráfica no es únicamente útil para adquirir los conocimientos relacionados, sino también para desarrollar las habilidades espaciales. Deben programarse actividades que potencien su desarrollo a la vez que se imparten conocimientos de geometría, representación y normalización.
- Para nivelar las habilidades espaciales de los alumnos de ingeniería cuando acceden a la universidad y asegurar su permanencia, podrían establecerse cursos cero específicos para su entrenamiento, voluntarios y con asignación de créditos. Se ha demostrado la relación significativa entre la capacidad espacial de los estudiantes y su propia apreciación sobre ella. Puede ser un buen criterio a seguir. Si no es posible la realización de un curso cero, debería recomendarse (en el momento de matricularse) a los alumnos que no han cursado dibujo en bachillerato o que consideran que tienen poca habilidad espacial, el seguimiento de un curso de forma autónoma. Para ello, se les puede ofrecer diferentes páginas web de libre acceso. Algunos autores han demostrado que un entrenamiento de duración entre 6 y 12 horas puede desarrollar las HE y que los estudiantes valoran positivamente los cursos de entrenamiento.

5.1.2 ESTRATEGIAS EN RESOLUCIÓN DE TAREAS ESPACIALES

Cuestión respondida: ¿Qué estrategias son más eficientes en la resolución de las pruebas espaciales analizadas?

- En la resolución de tareas espaciales se utilizan *diferentes estrategias* que varían en función de la persona y de la tarea realizada. Una *estrategia flexible es más óptima* que una estrategia concreta. Un repertorio amplio de estrategias permite seleccionar la más adecuada para cada tarea.
- Las personas con buenas habilidades espaciales tienen *facilidad para aplicar una estrategia espacial holística*, pero pueden emplear una estrategia analítica cuando la tarea lo requiere. Las personas con baja habilidad espacial disponen de menos estrategias; utilizan poco una estrategia espacial holística y recurren más a estrategias analíticas.

- En general, las *tareas espaciales sencillas* pueden realizarse empleando *una estrategia espacial holística*. Pero cuando la tarea se complica es más eficaz recurrir a estrategias más analíticas. Las *estrategias espaciales holísticas requieren menos tiempo pero más esfuerzo* que las estrategias analíticas, porque manejan información más compleja. La tendencia y habilidad para aplicar una estrategia holística conduce a mejores resultados.
- Los *gestos* ayudan a realizar las tareas de rotación mental (repetir los gestos ayuda a recordar los giros). En el resto de tareas estudiadas son gratuitos.
- No se detectan diferencias significativas en estrategias aplicadas por *hombres y mujeres*, a pesar de que el promedio de resultados es mejor en los hombres en todas las pruebas.
- La *memoria de trabajo* influye en el rendimiento de algunas tareas espaciales. Sobre todo, en rotación mental.
- Interpretar bien las *perspectivas* es una habilidad importante para resolver algunas pruebas de habilidad espacial.
- De las tres tareas estudiadas, la rotación mental (PSVT:R) es, posiblemente, la que mejor permite una estrategia espacial holística en todo el proceso de resolución. En general, exige esfuerzo y concentración. Sin embargo, es la peor relacionada con los requisitos de la asignatura.

5.1.3 RELACIONES ENTRE RESULTADOS EN LAS PRUEBAS Y EVALUACIONES DE LA ASIGNATURA

Objetivos cumplidos: Identificar qué habilidades espaciales están más relacionadas con la ingeniería gráfica. Seleccionar las pruebas estándar que mejor valoren las HE identificadas y permitan la comparación con otros estudios. Relacionar las diferentes HE analizadas. Determinar si las pruebas empleadas pueden ayudar a predecir el resultado académico de los diferentes bloques temáticos de Expresión Gráfica. Analizar si la metodología y programación de la asignatura es óptima para desarrollar las HE de los estudiantes. Deducir qué parte de la asignatura desarrolla mejor las HE. Preguntas respondidas: ¿Existe correlación entre las HE estudiadas y las variables demográficas de los estudiantes (género, haber cursado dibujo...)?; ¿Qué prueba (principio de curso) predice mejor el resultado académico de la asignatura Expresión Gráfica?; ¿Qué prueba (final de curso) valora mejor las HE requeridas en expresión gráfica?; ¿Qué bloque temático de la asignatura potencia mejor el desarrollo de las HE (o está más relacionado)?

- La revisión de la literatura (Capítulo 2) sugiere que las habilidades espaciales más relacionadas con la ingeniería gráfica, asociadas a las pruebas que las miden, son: habilidad para seccionar objetos mentalmente (Mental Cutting test: MCT), rotación mental (PSVT:R) y plegado mental (DAT-SR). Los resultados de esta investigación indican que las habilidades requeridas en Expresión Gráfica son más afines a la habilidad de cortar mentalmente un sólido por un plano que al plegado mental o rotación mental. Los resultados obtenidos en MCT (corte por un plano) después de cursar la asignatura están mejor correlacionados con la nota final que las otras pruebas.
- Las diferencias entre alumnos son más notables en MCT y los resultados son peores que en DAT-SR (plegado mental) y PSVT:R (rotación mental). Puede favorecer que MCT sea mejor discriminador.
- El test DAT-SR es útil para detectar los alumnos más propensos a fracasar en el primer módulo de modelado y planos. Si únicamente se valora el modelado, MCT también puede servir. MCT predice mejor el resultado final en la asignatura, aunque las otras dos pruebas tienen una correlación muy similar. La *geometría espacial* tiene mayor relación con MCT. Es una prueba de reconocimiento del objeto, de análisis geométrico: entender las relaciones espaciales entre sus elementos y con el plano de corte. Las pruebas de DAT-SR y PSVT:R también requieren un análisis geométrico, pero están más condicionadas por un proceso dinámico (plegado mental y rotación mental).
- Puede deducirse que la metodología de la enseñanza utilizada favorece el incremento de las habilidades espaciales (aumento en las puntuaciones de las tres pruebas entre 8,8% y 10,9% después de cursar la asignatura). Los alumnos con peores habilidades, lógicamente, obtuvieron mejorías más importantes.
- Es necesario incluir en la asignatura *módulos específicos de geometría para desarrollar las habilidades espaciales* de los estudiantes. Consideran que es el tema que mejor ha contribuido a su desarrollo, a pesar de que a la mayoría de ellos les resulte menos interesante que el modelado de piezas. El estudio profundo de geometría mejora sustancialmente el razonamiento y la habilidad espacial.
- Existe una correlación significativa ($p < 0,001$) moderada-alta entre las diferentes pruebas espaciales analizadas, que varía entre $r = 0,51$ y $r = 0,67$ (Pearson). En las pruebas iniciales la mayor correlación ($r = 0,62$) se da entre DAT-SR y PSVT:R. En las finales entre DAT-SR y MCT ($r = 0,67$)

5.1.4 VARIABLES RELACIONADAS CON LAS HABILIDADES ESPACIALES

Respuesta a la pregunta: ¿Existe correlación entre las habilidades espaciales estudiadas y las variables de los estudiantes (género, haber cursado dibujo...)?

Algunas variables propias de los individuos o relacionadas con su experiencia, pueden condicionar sus habilidades espaciales. Sería muy arriesgado extrapolar los resultados a conclusiones generales, más teniendo en cuenta el reducido tamaño de la muestra analizada. De hecho, las conclusiones sobre este aspecto difieren entre unas y otras investigaciones. Se resumen los resultados interesantes en este estudio. En general, las variables afectan más a las puntuaciones del Mental Cutting Test (MCT). Parece que el test MCT recoge las mayores diferencias en todos los aspectos; variables y relación con la asignatura.

- A pesar de que en todos los test la media de los hombres superó la de las mujeres, sólo hubo una correlación significativa con la prueba MCT. La mejoría de sus habilidades espaciales después de cursar la asignatura fue similar en ambos sexos.
- La apreciación de los alumnos sobre sus habilidades espaciales está claramente relacionada con sus resultados en las pruebas. Puede ser un buen indicador para detectar los estudiantes con más posibilidades de fracasar en la asignatura.
- Los alumnos repetidores rindieron peor en la prueba MCT que los que cursaban la asignatura por primera vez, y similar en las otras dos pruebas. Sin embargo, obtuvieron mejores notas en la asignatura.
- La experiencia previa en CAD 3D no supuso ninguna diferenciación en las habilidades espaciales, a diferencia de otros estudios.
- Los estudiantes que habían cursado dibujo en bachillerato obtuvieron mejores resultados en la prueba MCT. La correlación también fue significativa en relación con su nota media de dibujo en bachillerato.
- Parece haber una correlación clara entre las habilidades espaciales y el uso habitual de videojuegos. Las puntuaciones de los jugadores fueron mejores en todos los test. La mayor correlación se dio con MCT a final de curso.
- Los alumnos que jugaban con juegos de construcción de niños resolvieron mejor el test de plegado mental DAT-SR a principio de curso.
- No parece haber ninguna relación entre las habilidades espaciales de los alumnos y sus notas de bachillerato, matemáticas o PAU's. Tampoco se ha comprobado ninguna

diferencia significativa con el hecho de trabajar o no, realizar actividades artísticas, la práctica de deporte, o tener progenitores ingenieros o arquitectos. Los zurdos obtuvieron medias más bajas pero sólo fueron significativas en los test DAT-SR y MCT iniciales, no en los finales.

5.1.5 CRITERIOS PARA PROGRAMAR ACTIVIDADES QUE POTENCIEN EL DESARROLLO DE LAS HABILIDADES ESPACIALES

Respuesta a la pregunta: ¿Qué características deben cumplir las actividades programadas en la asignatura para fomentar el desarrollo de las HE?

No se ha podido comprobar qué metodología es más eficaz para potenciar las habilidades espaciales. Por lo tanto, una buena forma es desarrollar actividades que fomenten su mejoría y aporten conocimientos de ingeniería gráfica. A partir de la revisión de la literatura, de la experiencia personal y de los resultados de esta investigación, se han establecido unos criterios para programar estas actividades. La finalidad es dotar a los alumnos de un amplio recurso de estrategias que les permita aplicar una flexible y elegir la más óptima para cada tarea. Dunning y Holmes (2014) demostraron que el entrenamiento cognitivo mejora el rendimiento en tareas de memoria de trabajo y puede estar mediado por un implícito y espontáneo cambio en el uso de estrategias. Los criterios son:

- *Modelar en 3D desarrolla las habilidades espaciales.* La manipulación activa de modelos virtuales aumenta el reconocimiento geométrico de objetos complejos (Cohen y Hegarty, 2014; Torner y otros, 2014; De la Torre, Cantero y otros, 2012). Los individuos con pocas habilidades espaciales se beneficiaban más que los que tienen más habilidades de interactuar con modelos en 3D en lugar de imágenes 2D (Höffler, 2010).
- *Es importante enseñar geometría.* No sólo aumenta la capacidad de reconocimiento espacial intuitivo, sino también el pensamiento lógico (Tsutsumi y otros, 2005). En la encuesta que se realizó a los alumnos al final de curso, el 71% consideraba que el módulo de geometría era el que más había desarrollado sus habilidades espaciales, a pesar de que a la mayoría de ellos les resulte menos interesante que el modelado de piezas directo (a partir de sus cotas). El estudio de la geometría ha cambiado considerablemente a raíz de la posibilidad de dibujar o modelar en 3D. El trabajo tridimensional permite programar ejercicios que incluyen condiciones geométricas prácticamente inabordables cuando se dibujaba en 2D. A pesar de que los programas de CAD actuales incorporan multitud de condiciones paramétricas que facilitan la construcción, sigue siendo necesario realizar

construcciones auxiliares para solucionar determinados problemas. Otra ventaja es la rapidez de ejecución; permite realizar muchos más ejercicios, lo que supone plantear mayor variedad de casos. Pero la gran ventaja es la motivación del alumno. En todas las encuestas realizadas en cursos de entrenamiento, los alumnos dicen preferir el uso de las nuevas tecnologías que el croquis a lápiz o dibujo en 2D.

- Habituarse a los alumnos a *interpretar dibujos* y saber elegir un punto de vista adecuado. Uno de los problemas detectados es que los estudiantes tienen dificultades para reconocer los sólidos (propiedades y relaciones) a partir de los dibujos. Se ha comprobado en las dificultades informadas por los entrevistados de este estudio, corroborando las conclusiones de otros autores (Tsutsumi y otros, 2005; Li, 2014; Šipuš y Čižmešija, 2012). Tsutsumi y otros. (2008) comprobaron que era importante elegir un punto de vista adecuado en el proceso de formación de la imagen correcta del sólido de un dibujo en perspectiva.
- *Trabajar el croquis.* Favorece la reducción del problema anterior: interpretar los dibujos en 2D y transformarlos mentalmente en figuras 3D. Las propuestas educativas que enfatizan el trabajo con croquis potencian esta transformación y desarrollan las habilidades espaciales (Iwanowska y Voyer, 2013; Sorby, 2009). Puede prescindirse en la actualidad de los ejercicios de lápiz y papel, pero el croquis es importante. En la fase creativa, el trazo manual del croquis permite mayor inmediatez y expresividad, es mucho más suelto y ágil que el ordenador. Es fundamental que un ingeniero pueda procesar y expresar sus ideas mediante un croquis a mano alzada.
- *Empezar con actividades menos difíciles que permitan desarrollar el uso de estrategias espaciales holísticas.* Posteriormente tareas más complicadas que requieran estrategia flexible y entrenen en la combinación de estrategias holísticas y analíticas (Stieff y otros, 2013) Es peligroso enseñar estrategias analíticas aisladas. Las estrategias analíticas pueden ser más efectivas cuando se ha enseñado previamente a aplicar estrategias espaciales holísticas o cuando se enseñan en conjunción con ellas. Kyllonen y otros. (1984) emplearon un test de plegado mental para su análisis de formación. Comprobaron que los participantes con buenas HE se beneficiaban más de practicar la tarea y recibir retroalimentación. Sin embargo, los participantes con pobres HE se beneficiaban más de una formación con estrategias de visualización.
- *Cuidado con la información gratuita.* Branoff (2009) añadió ejes de coordenadas a los ítems de PSVT:R. y comprobó que se requería más tiempo con la información añadida, incluso para los alumnos que utilizaban una estrategia holística. Posiblemente provocaba

un cambio de aplicación de estrategia, de holística a analítica, para procesar la información.

- *Trabajar secciones.* Requiere un análisis geométrico importante y está relacionado con la capacidad de modelar. Se ha comprobado la relación entre el modelado y La prueba *Mental Cutting test* (MCT). El requerimiento de imaginar una sección en MCT es similar a la estrategia requerida para modelar partes complejas en 3D (Branoff y Dobelis, 2013; Steinhauer, 2012; Branoff y Carolina 2014; Leopold y otros, 2001).
- Trabajar la *mejora de atención y memoria.* Muchas tareas espaciales requieren memoria de trabajo Algunos entrevistados han informado sobre dificultades en este aspecto (pág.194).
- Trabajar *rotaciones.* Se ha demostrado que las habilidades espaciales requeridas en la asignatura tienen menos relación con la rotación mental que con el plegado mental o el seccionar un sólido. Rafi y otros (2006) decían que las actividades de dibujo de Ingeniería utilizan contenidos de aprendizaje que no afectan a las operaciones mentales asociadas con la capacidad de velocidad de rotación mental. Pero es importante también poder trabajar esta habilidad.
- Trabajar con *superficies curvas y oblicuas.* Se ha comprobado que algunos de los ítems peor resueltos del test MCT comprendían estas formas.
- Hacer *planos.* Además de proporcionar conocimientos necesarios de sistemas y representación y normalización, desarrolla las habilidades espaciales porque permite trabajar secciones y vistas auxiliares. Hegarty (2012) propone la competencia meta-representacional como un componente básico de la inteligencia espacial, que abarca la capacidad de elegir la representación exterior óptima para una tarea. La realización de planos a partir de los modelos de las piezas o ensamblajes, permite evitar los ejercicios en lápiz y papel Las vistas obligan a pensar en el punto de vista más adecuado para visualizar un elemento en posición favorable y la ventaja de las secciones ya se ha comentado.
- Evaluación por parte de participantes de utilidad de estrategias. Recoger, si es posible, las estrategias aplicadas y sus resultados: feedback, grabación de movimientos, protocolos verbales... (Strasser y otros, 2010; Fischer y otros, 1994; Contreras y otros. 2009).

5.2 LÍNEAS FUTURAS

“El empleo de herramientas de modelado 3D paramétricas ha comportado un cambio en el proceso de diseño tradicional, dado que se trabaja sobre prototipos virtuales en lugar de emplear herramientas de soporte bidimensional”. (Font Andreu, 2007). Hace ya unos cuantos años que cambió la ingeniería gráfica, pero todavía queda mucho camino por recorrer. Es obligación de los docentes continuar investigando sobre qué conceptos hay que impartir, con qué metodología y cómo potenciar la capacidad de visión espacial. Hay que sacar el mayor partido posible a las nuevas herramientas, generar prácticas atractivas para los estudiantes y aplicadas a casos reales.

A partir de los criterios establecidos en el apartado anterior, se muestra un ejemplo de secuencia de prácticas en el Capítulo 6. Valdría la pena programar una propuesta de elaboración de un proyecto, manteniendo dichos criterios y valorar el resultado con un grupo de control.

Es difícil saber si se puede avanzar mucho más en la investigación sobre habilidades espaciales. No se ha encontrado ningún estudio sobre cómo ha evolucionado la capacidad espacial a lo largo de la historia. Si los videojuegos y los modelos virtuales potencian su desarrollo, cabe esperar que, de media, sea superior a la de hace unos años. Por otro lado, si dibujar incrementa especialmente la habilidad espacial y cada vez se dibuja menos, podría contrarrestar el desarrollo de estas habilidades. Sería interesante realizar un estudio sistemático que pudiera analizar su evolución.

La investigación sobre las habilidades espaciales en ingeniería se ha concentrado en el entorno educativo y, en concreto, en la ingeniería gráfica. El conocimiento de qué tareas espaciales están vinculadas a los diferentes ámbitos profesionales y las dificultades que pueden implicar permitiría programar actividades enfocadas a solventarlas.

Por otro lado, sería importante desarrollar nuevas pruebas psicométricas que midieran un conjunto de habilidades espaciales (no una sola) necesarias en ingeniería. Algunos autores ya trabajaron en este tema (Sutton y Williams, 2008), pero no se tiene constancia del resultado.

Es importante profundizar en la investigación sobre estrategias cognitivas empleadas en la resolución de problemas espaciales para entender las diferencias individuales en habilidades espaciales.

CAPÍTULO 6. PROPUESTA DE ACTIVIDADES

En el capítulo anterior se han expuesto unos criterios para programar prácticas en la asignatura de Expresión Gráfica en Ingeniería, que potencien el desarrollo de las habilidades espaciales.

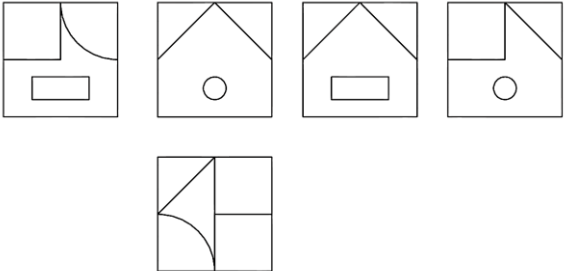
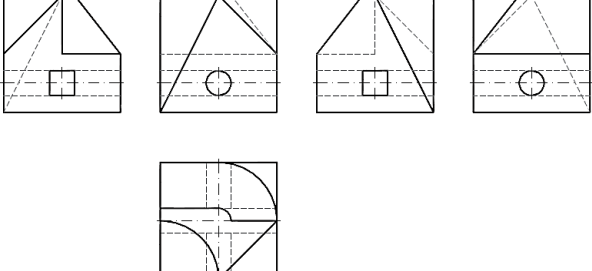
En este capítulo se presenta un ejemplo de una secuencia de prácticas que contempla dichos criterios





Primeras prácticas:

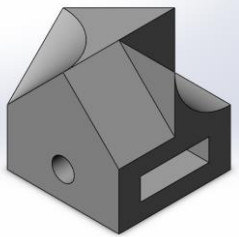
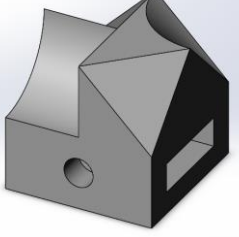
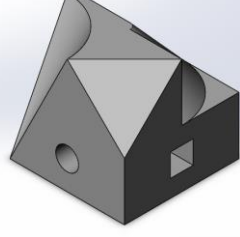
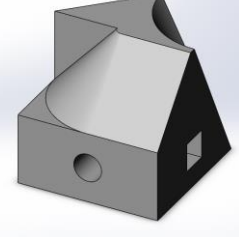
- *Habituarse a los alumnos a interpretar dibujos y saber elegir un punto de vista adecuado*
- *Trabajar el croquis*
- *Empezar con actividades menos difíciles que permitan desarrollar el uso de estrategias espaciales holísticas*
- *No incluir información gratuita.*
- *Trabajar con superficies curvas y oblicuas*
- *Trabajar la mejora de atención*
- *Modelar en 3D desarrolla las habilidades espaciales*
- *Hacer planos*

Figuras sin dimensiones, que incluyan diferentes tipos de superficies.

- Dadas las vistas de dos piezas, dibujar los croquis (a mano alzada) de dos vistas axonométricas de cada una de las piezas desde dos puntos de vista opuestos. (Por ejemplo: A. Viendo frontal y perfil derecho, B. Viendo trasera y perfil izquierdo)
- Una vez realizado el croquis, modelar las piezas con las dimensiones que se quiera, pero manteniendo aproximadamente las proporciones.
- A partir del modelo, reproducir el plano con las vistas dadas.

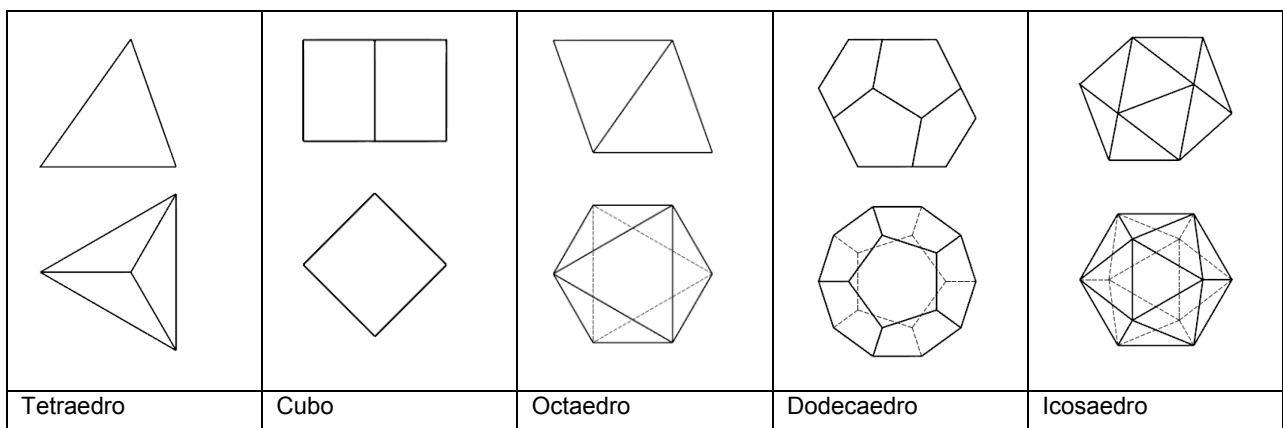
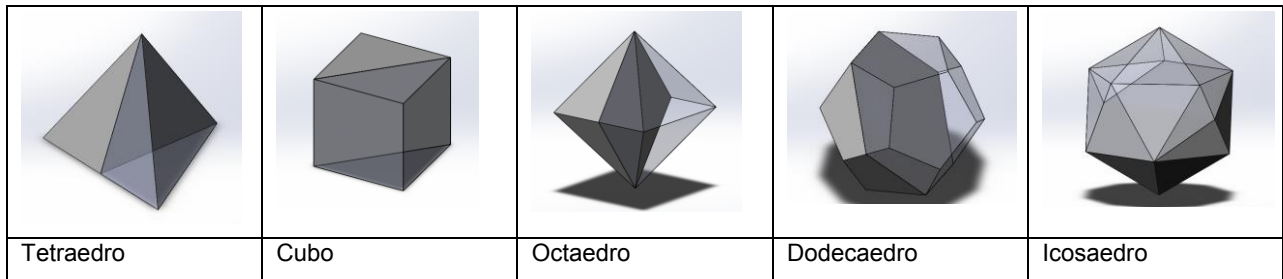
	
<p>Figura 1: No se han dibujado las aristas ocultas</p>	<p>Figura 2: Se han dibujado las aristas ocultas</p>

 <p>Croquis A. Figura 1</p>	 <p>Croquis B. Figura 1</p>	 <p>Croquis A. Figura 2</p>	 <p>Croquis B. Figura 2</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

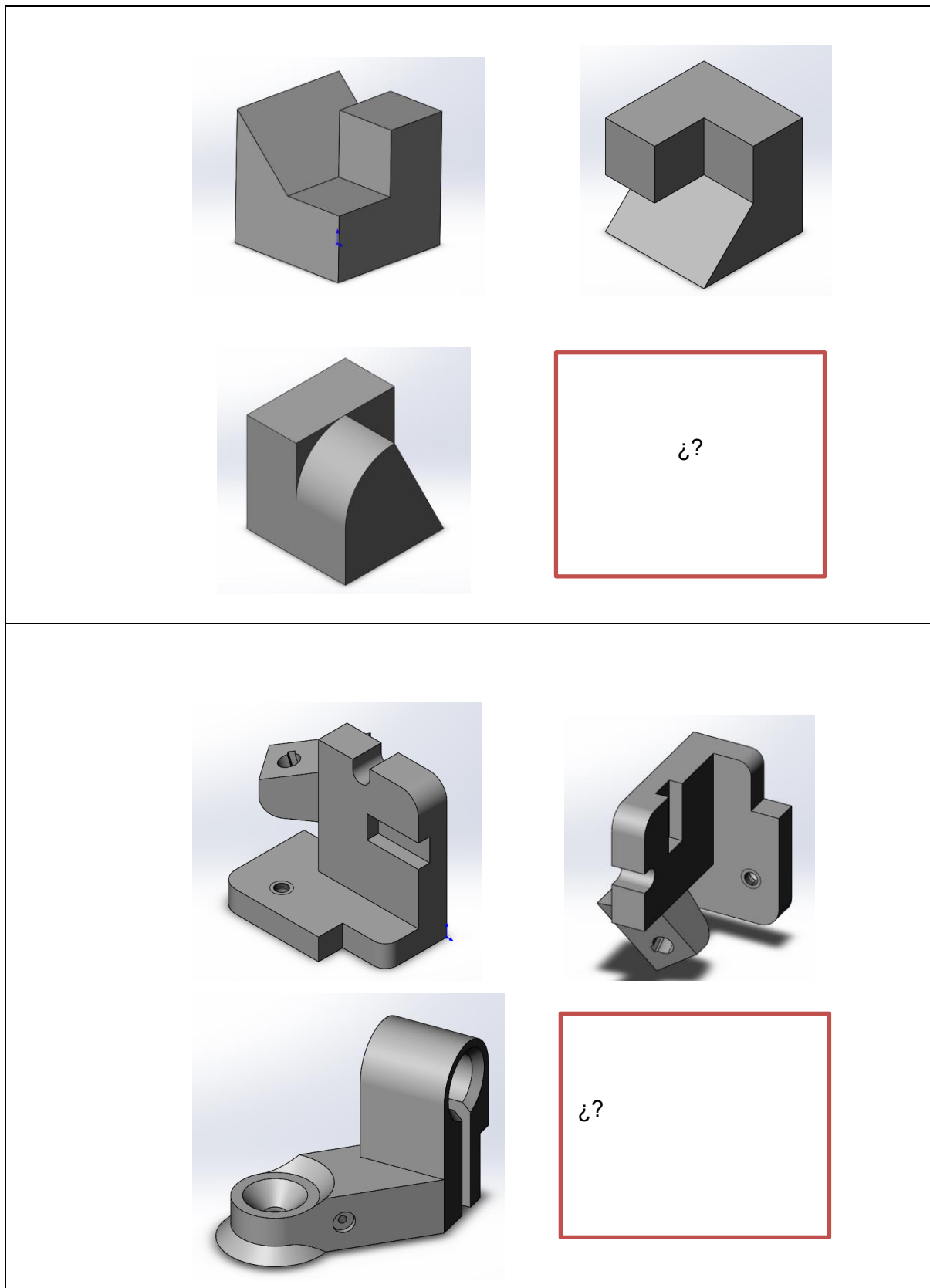
			
<p>Isométrica A . Figura 1</p>	<p>Isométrica B . Figura 1</p>	<p>Isométrica A . Figura 1</p>	<p>Isométrica B . Figura 1</p>

Modelar los 5 poliedros regulares (tetraedro, cubo, octaedro, dodecaedro, icosaedro).

- Definir una *sección* principal de cada uno de ellos.
- Dibujar planta y alzado de cada poliedro de manera que una cara esté apoyada en el plano horizontal y una sección principal del poliedro esté frontal (paralela al PV). Puede realizarse a partir de vistas (con vistas auxiliares) o a partir de ensamblaje (colocando el poliedro en posición favorable). Representar líneas ocultas.

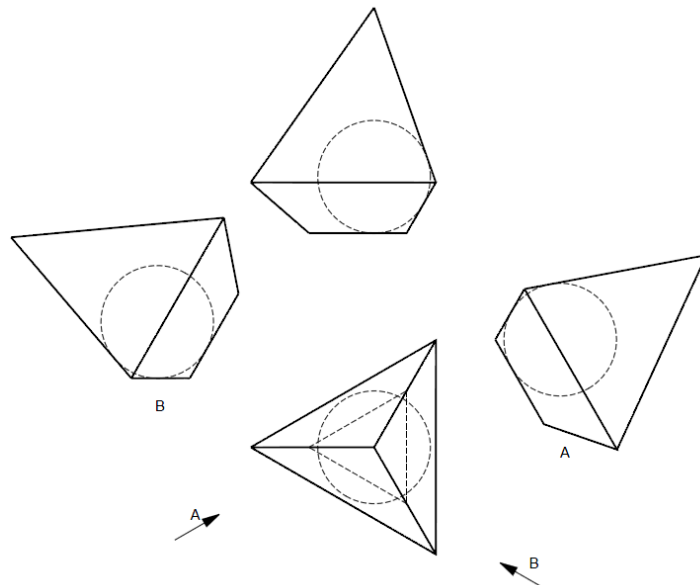
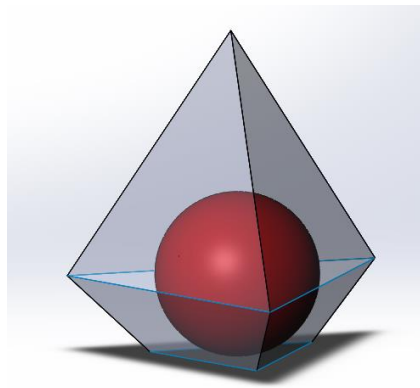


Practicar rotaciones respecto a más de un eje. Ejemplo de pieza girada. El ejercicio consistiría en girar otra pieza igual que la del ejemplo. En las figuras simples , antes de rotar la figura con el programa, se deben realizar el croquis o los croquis.



Ejercicio de Geometría. Es necesario aplicar croquis 3D.

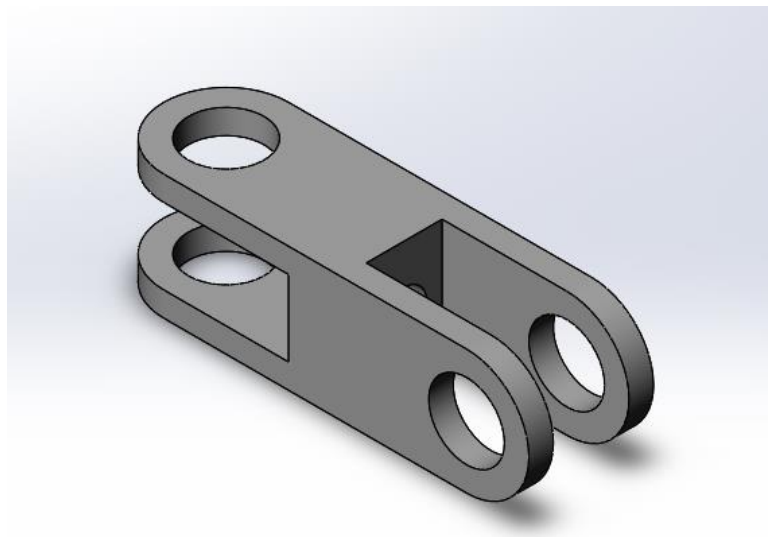
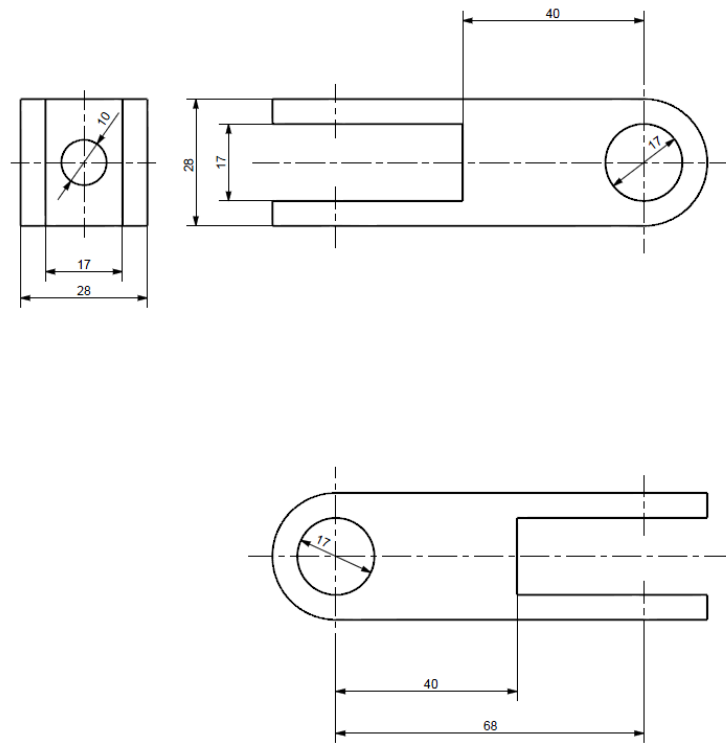
- Diseñar un contenedor de espesor despreciable para una esfera determinada. La tapa o parte superior está formada por tres caras de un tetraedro. Las caras laterales de la parte inferior forman 60° con la base (horizontal). La esfera tiene que quedar tangente a todas las caras (base, las 3 laterales de la parte inferior y las 3 laterales de la tapa).
- Dibujar las vistas necesarias para ver todas las tangencias.



Introducir cotas. Se dan las vistas de una pieza

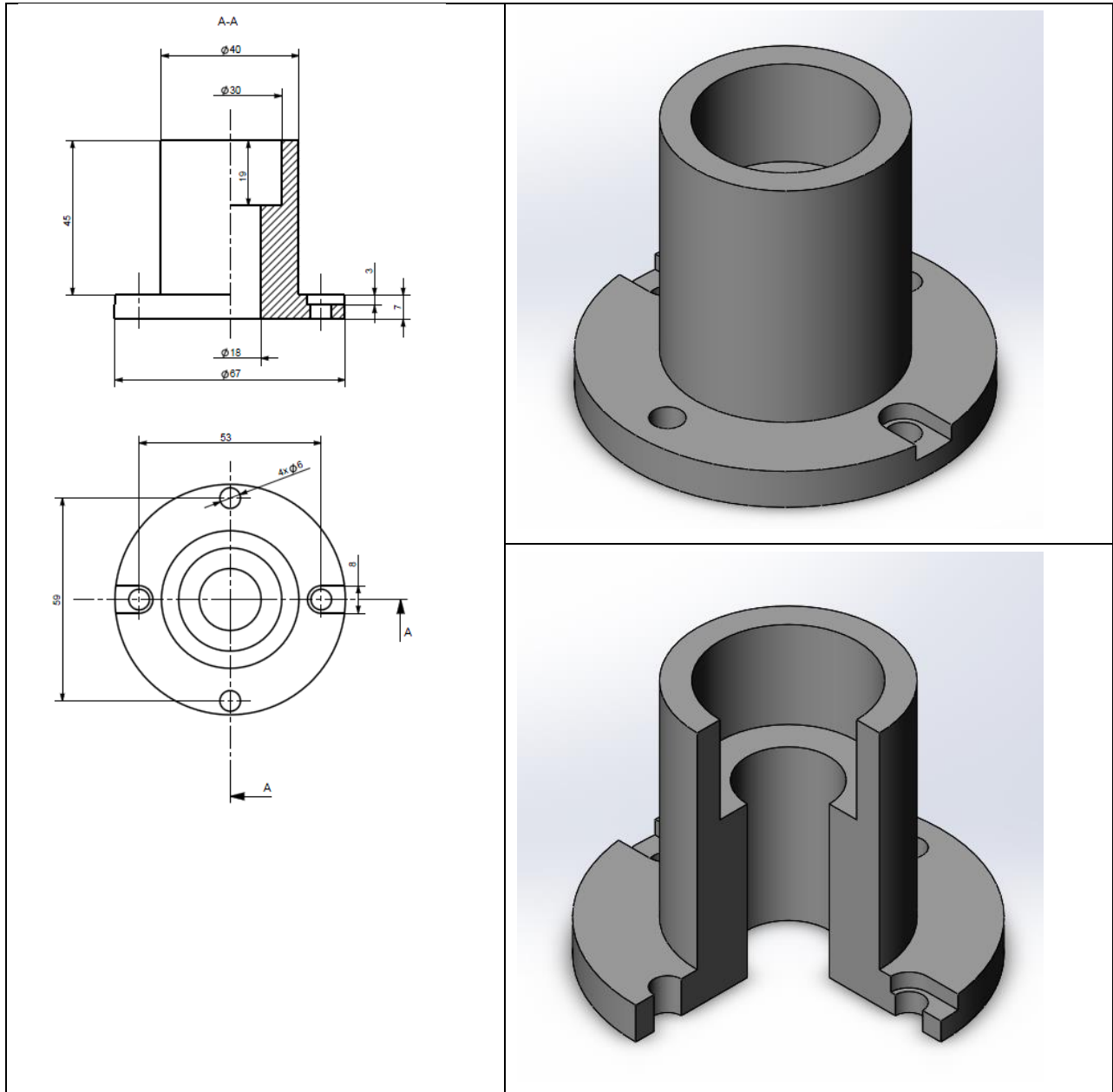
- Realizar croquis en perspectiva para interpretar la pieza
- Modelar la pieza
- Reproducir el plano

Ejemplo de pieza sencilla dadas las vistas. Requiere interpretación del objeto para modelarla. Importante que antes el alumno haga un croquis de la pieza en perspectiva

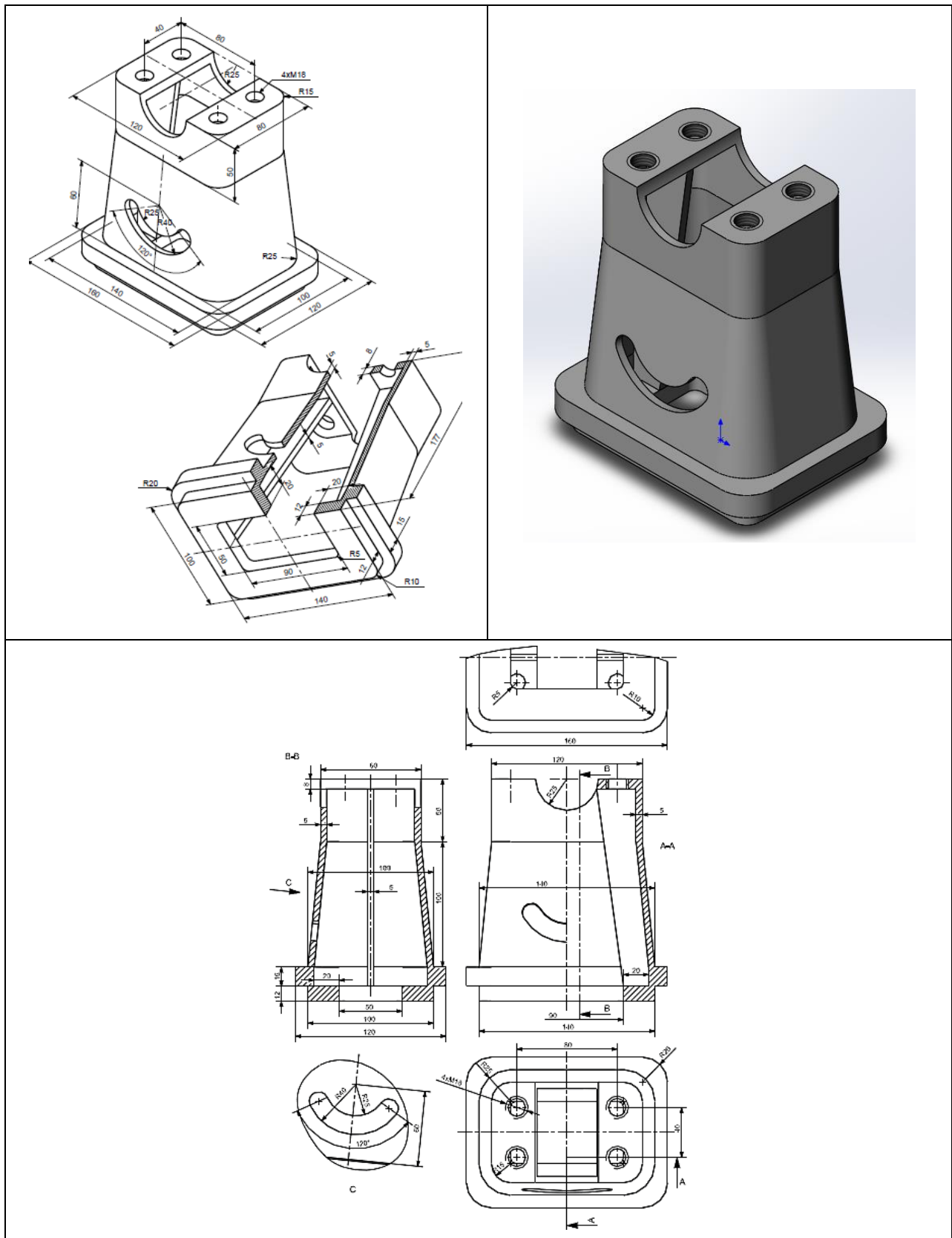


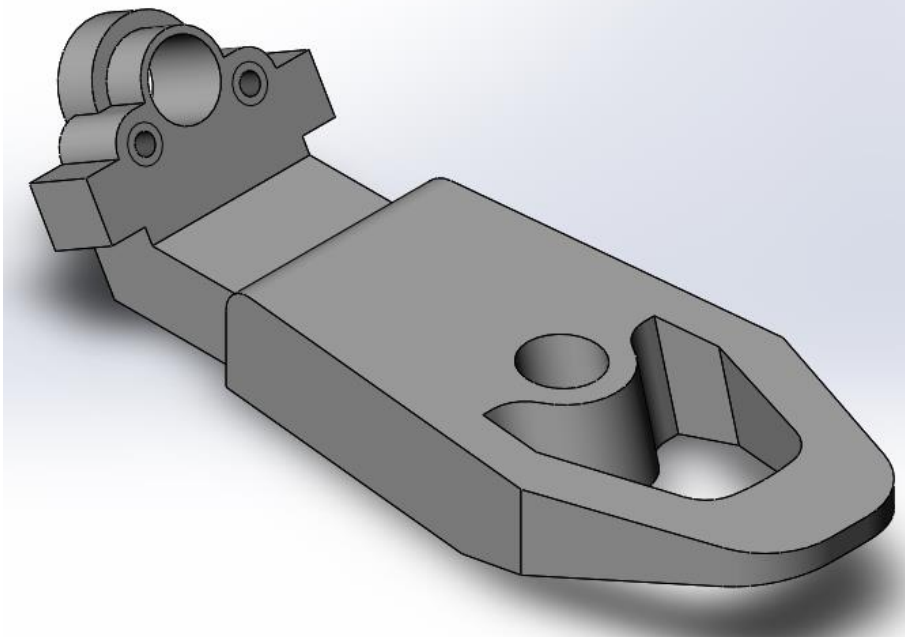
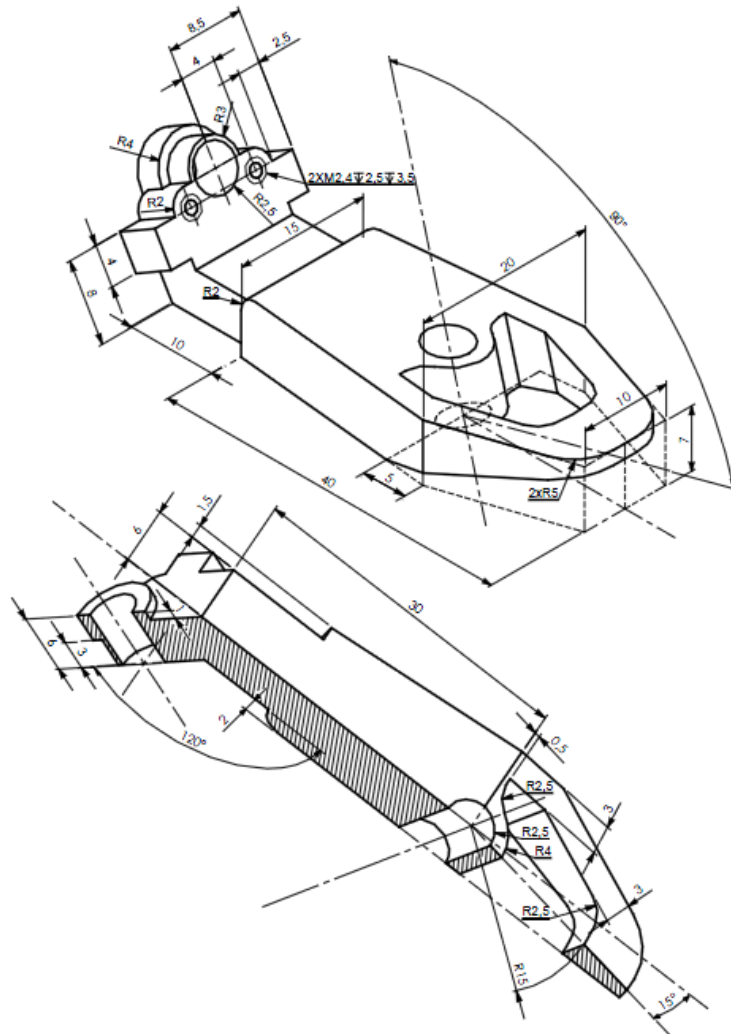
Introducir cortes en los datos. Acostumbrar al alumno a leer todo tipo de representaciones

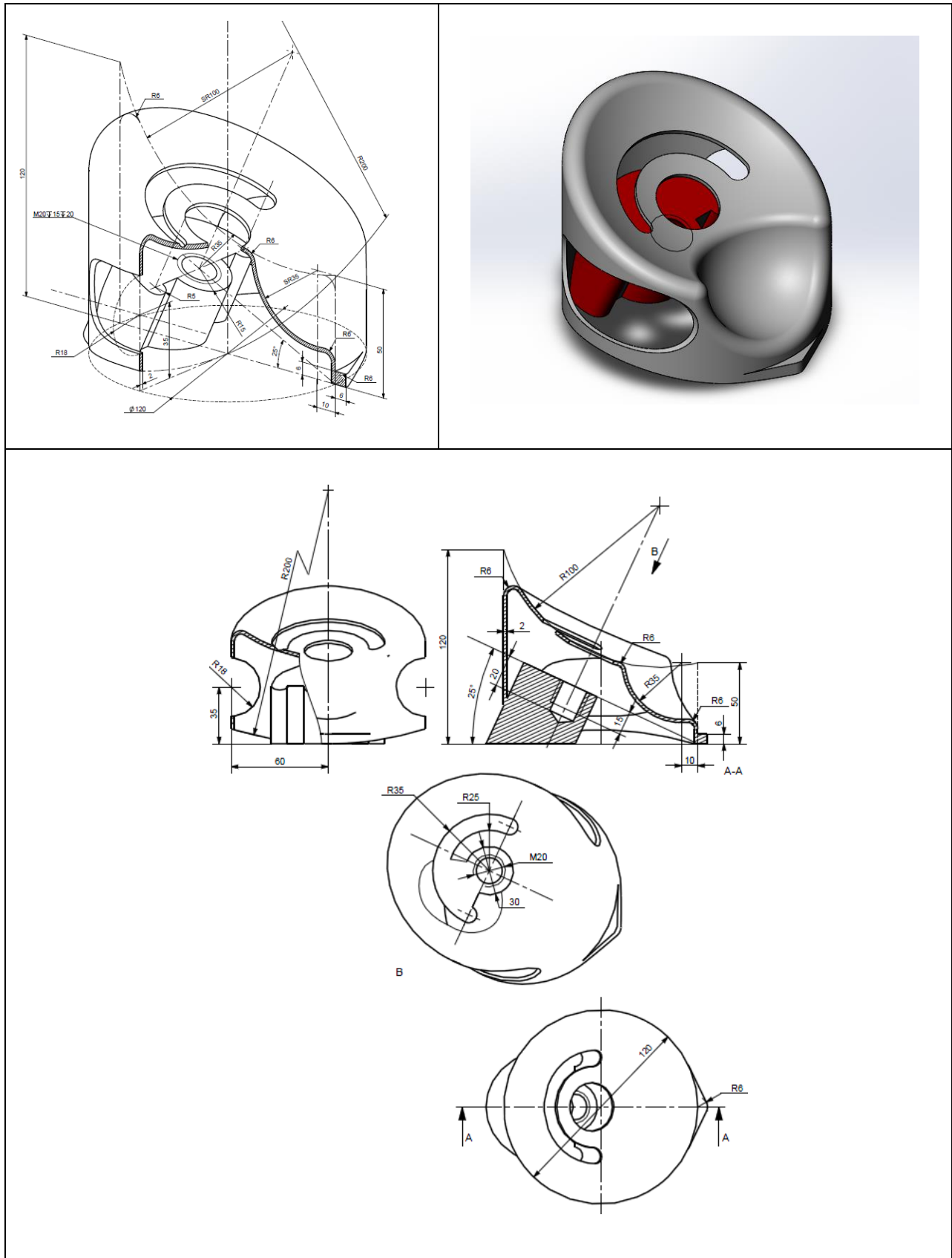
- Modelar la figura representada
- Reproducir el plano



Realizar planos de piezas que requieran cortes y vistas auxiliares a partir del enunciado en perspectiva.







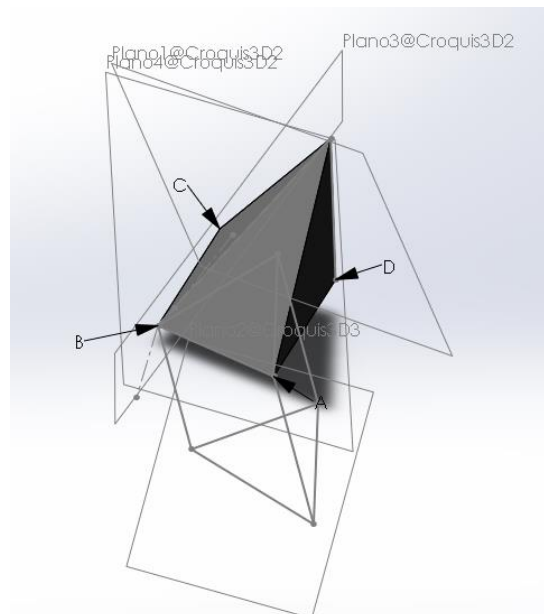
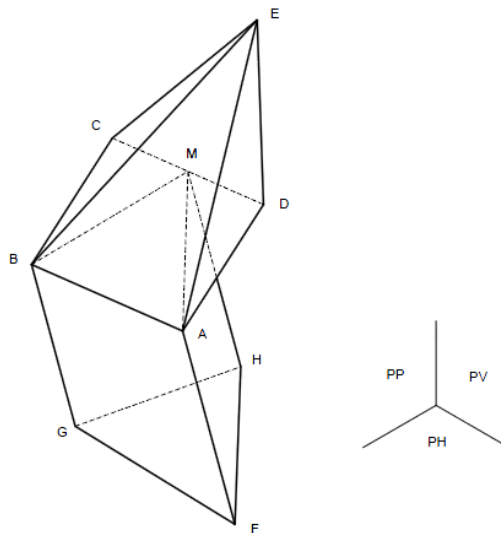


Prácticas de geometría. Formas poliédricas y de revolución.

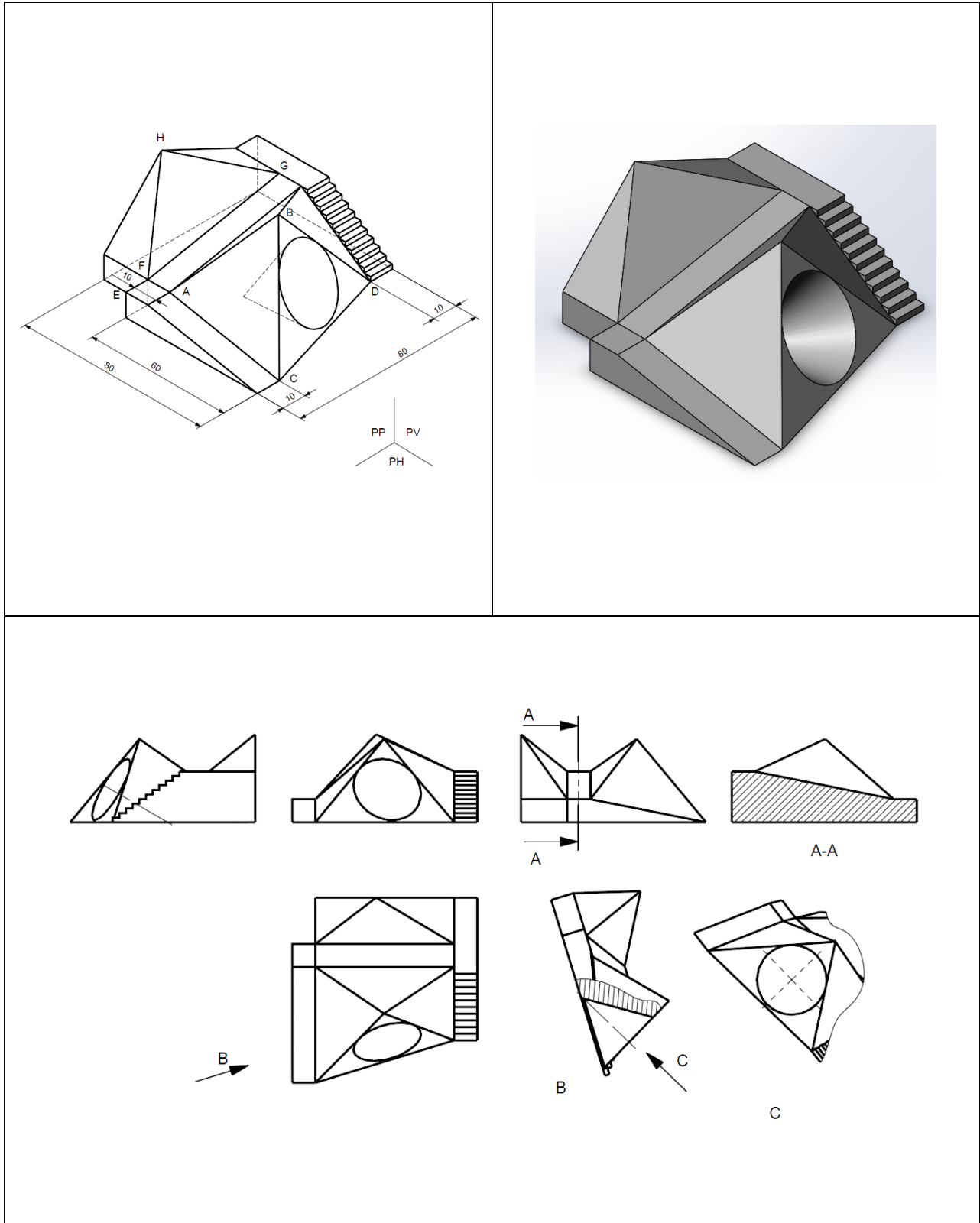
A diferencia de las figuras anteriores, es necesario trabajar en croquis 3D para relacionar los diferentes elementos con las condiciones geométricas especificadas en el texto.

Ejemplo: Prisma y pirámide con bases coplanarias.

- ABCD es un cuadrado (A coincide con el origen). B dista 80 del PV C 125 de PH. BD mide 365. M es el punto medio de CD. MA es recta de máxima pendiente.
- La cara DCE tiene una pendiente del 200%.
- BEC y BEA forman 84° . BE dista 250 de CD.
- FGH es un triángulo equilátero. Su plano forma 48° con las aristas laterales del prisma, 10° con la otra base y dista 200 de B.

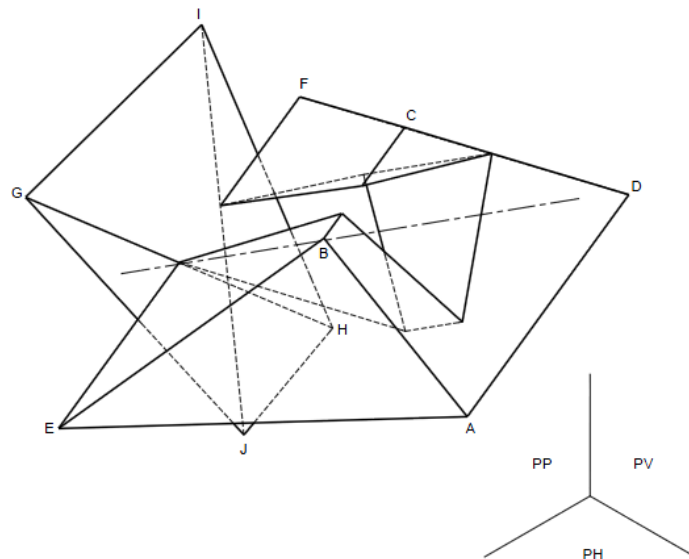


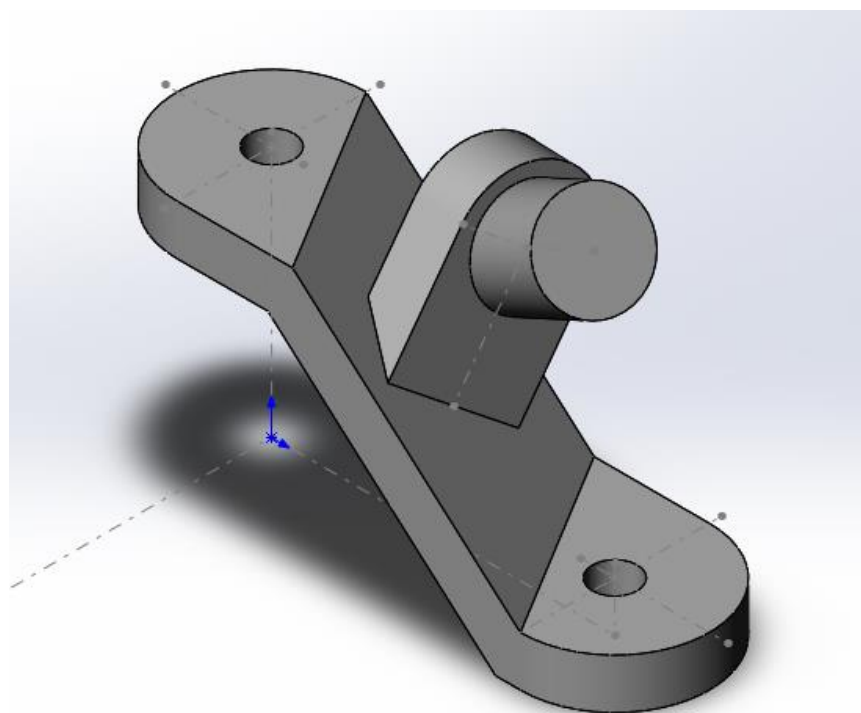
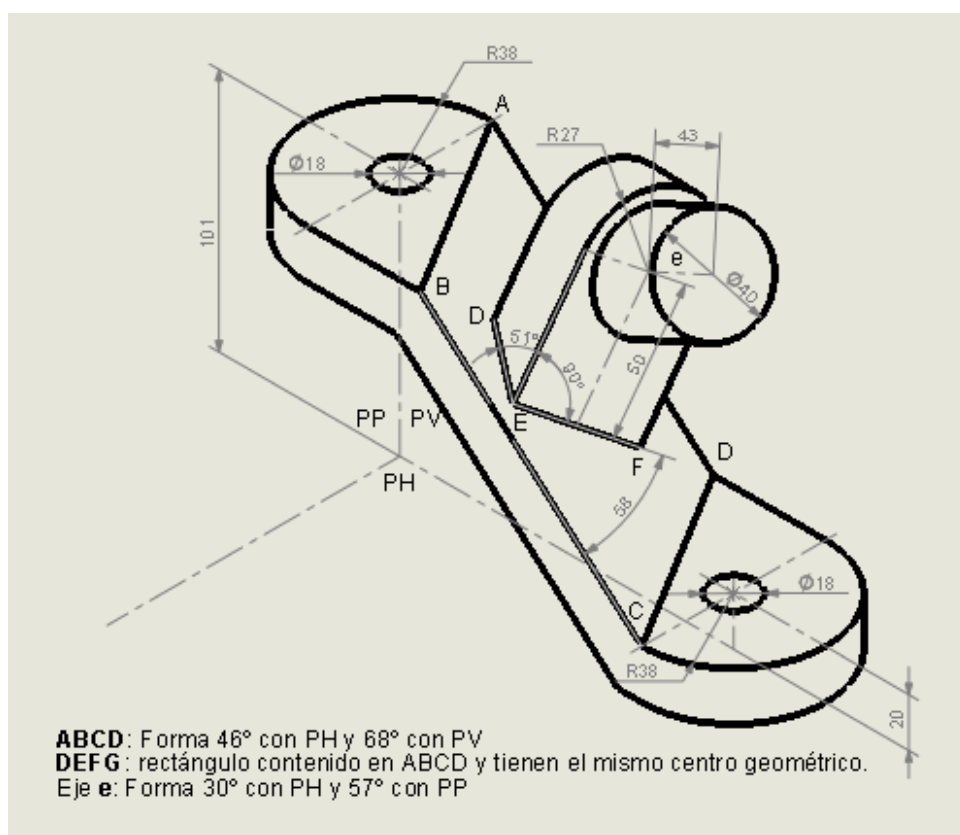
- Las rampas tienen una pendiente del 20%. La arista AB forma 36° con PH y 27° con PP. La altura del vértice B respecto a la base es 36. La cara BCD forma 61° con PH. El vértice H dista 50 de E y 30 de la arista FG.
- La abertura cónica es tangente a un plano horizontal que dista 1 de la base.



ABCD es un trapezio isósceles. AB es frontal y forma 30° con PH. BD es horizontal y AC es recta de máxima pendiente de ABCD. AD mide el doble que BC. AD dista 40 de BC.

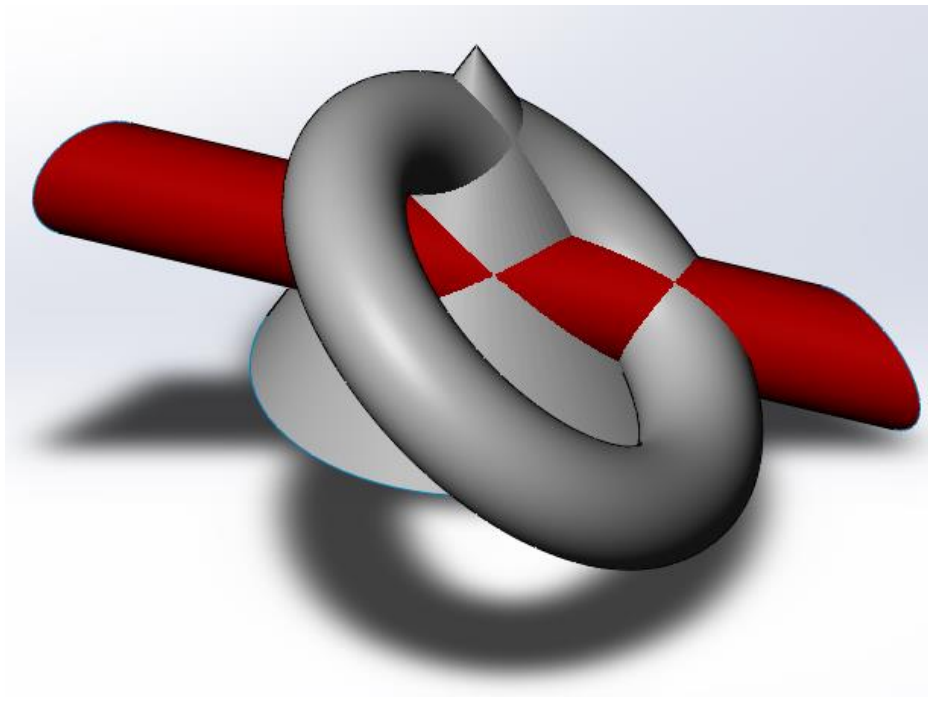
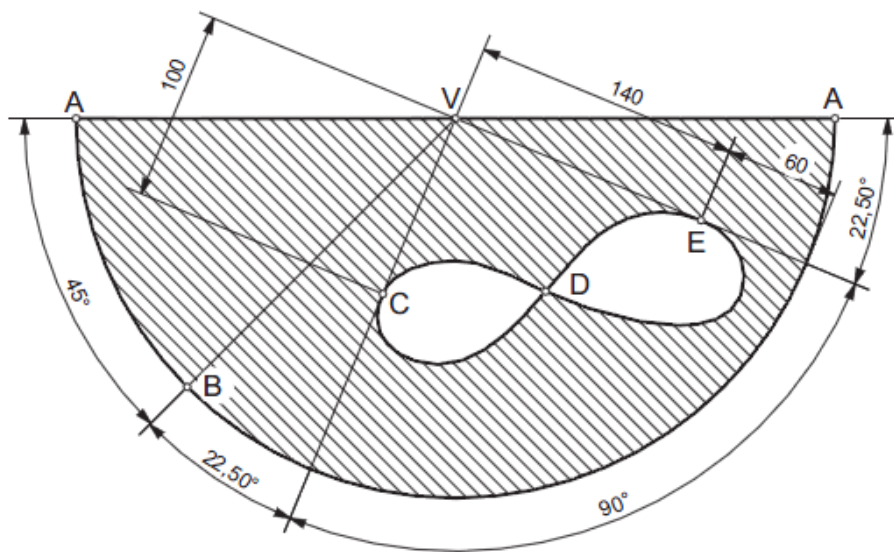
- La cara ABE forma el mismo ángulo con PH y PP. Los ángulos ABE y CBE son iguales. AE y CD distan 50 entre sí. CDF tiene una pendiente del 80%
- EF y GH son perpendiculares y se cortan en sus puntos medios. GH tiene la mínima pendiente posible. GI es una recta de perfil que dista 110 de ABCD
- HIJ es un triángulo equilátero situado en un plano vertical que dista 40 de G
- El poliedro ABCDEF se perfora por un prisma de sección recta triangular equilátera. El eje del prisma corta las diagonales AC y BD y dista 30 de DF y de GL. Dos caras laterales del prisma tienen la misma pendiente. Una arista lateral del prisma corta a CD.





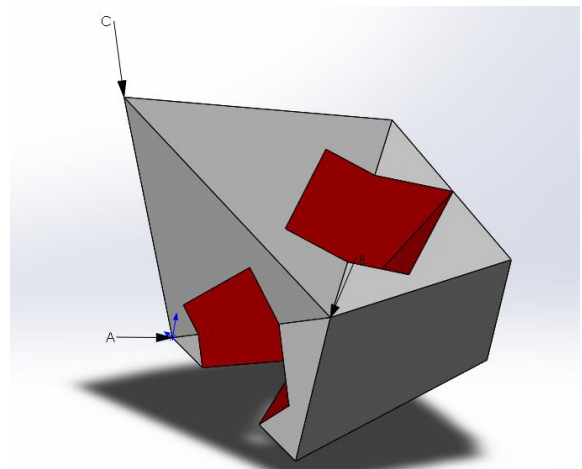
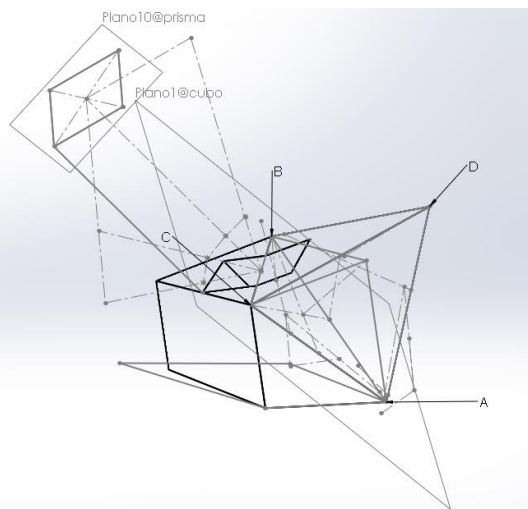
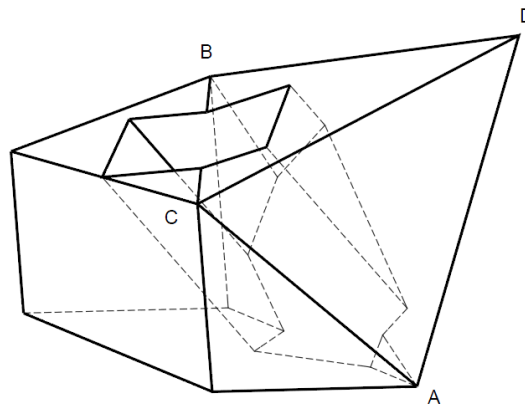
Modelar una pieza a partir del desarrollo. Puede resolverse con superficies o con sólidos. También puede realizarse con ensamblaje.

- Cono de revolución de eje vertical del que se conoce su desarrollo. La base apoya en el plano horizontal y es tangente al PV y al PP en los puntos A y B respectivamente.
- Cilindro de revolución, limitado por PP y PV. Interseca con la superficie cónica según la curva que pasa por C, D y E.
- Un toro bitangente al cono, bitangente al cilindro y tangente al PH. Su eje rectilíneo forma 50° con PH y 30° con PP.



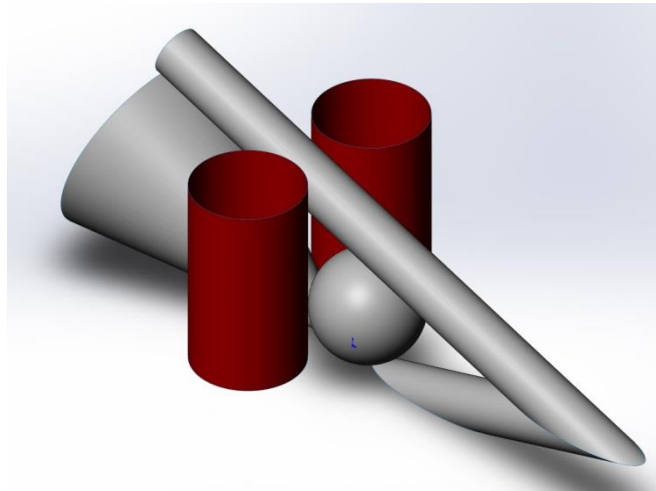
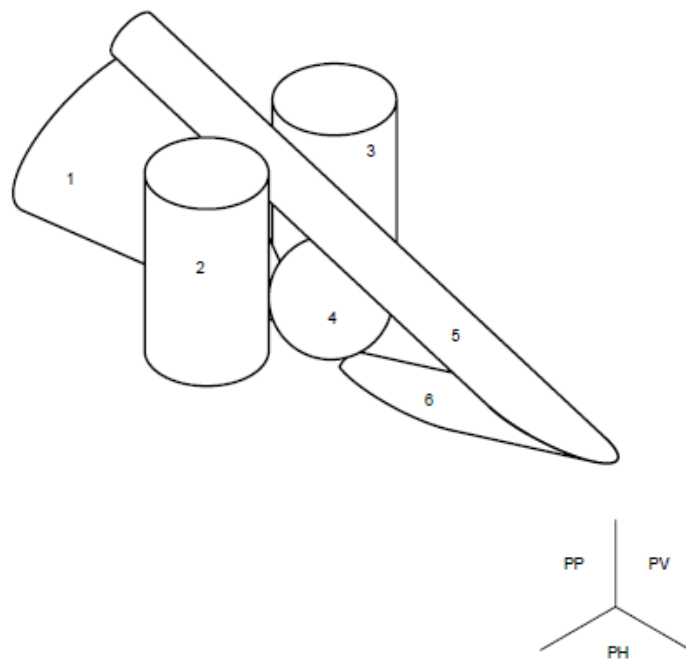
Aplicar condiciones geométricas para modelar determinadas piezas. En este caso, un tetraedro y medio cubo cortado por un plano a los que se aplica una entalladura producida por un prisma. El modelo se elabora a partir de condiciones dadas en el texto del enunciado. Es necesario trabajar en croquis 3D.

- ABCD es un tetraedro regular. La arista AB forma 30° con PH y la arista CD 75° con PV. La distancia entre AB i CD es 50. La pendiente de la cara ABD es el doble de la pendiente de la cara ABC.
- ABC son 3 vértices de un cubo. El cubo está cortado por un plano que pasa por A, dista 70 de D y los ángulos que forma con las aristas AC i CD son iguales.
- Un prisma perfora la pieza. Su eje pasa por el punto medio de la arista BC. El ángulo que forma con PH es el doble que el que forma con PV y dista 25 de AD. La sección recta del prisma es el cuadrado más pequeño de los posibles.



Ejercicios de generación y tangencias de superficies que profundizan en la geometría

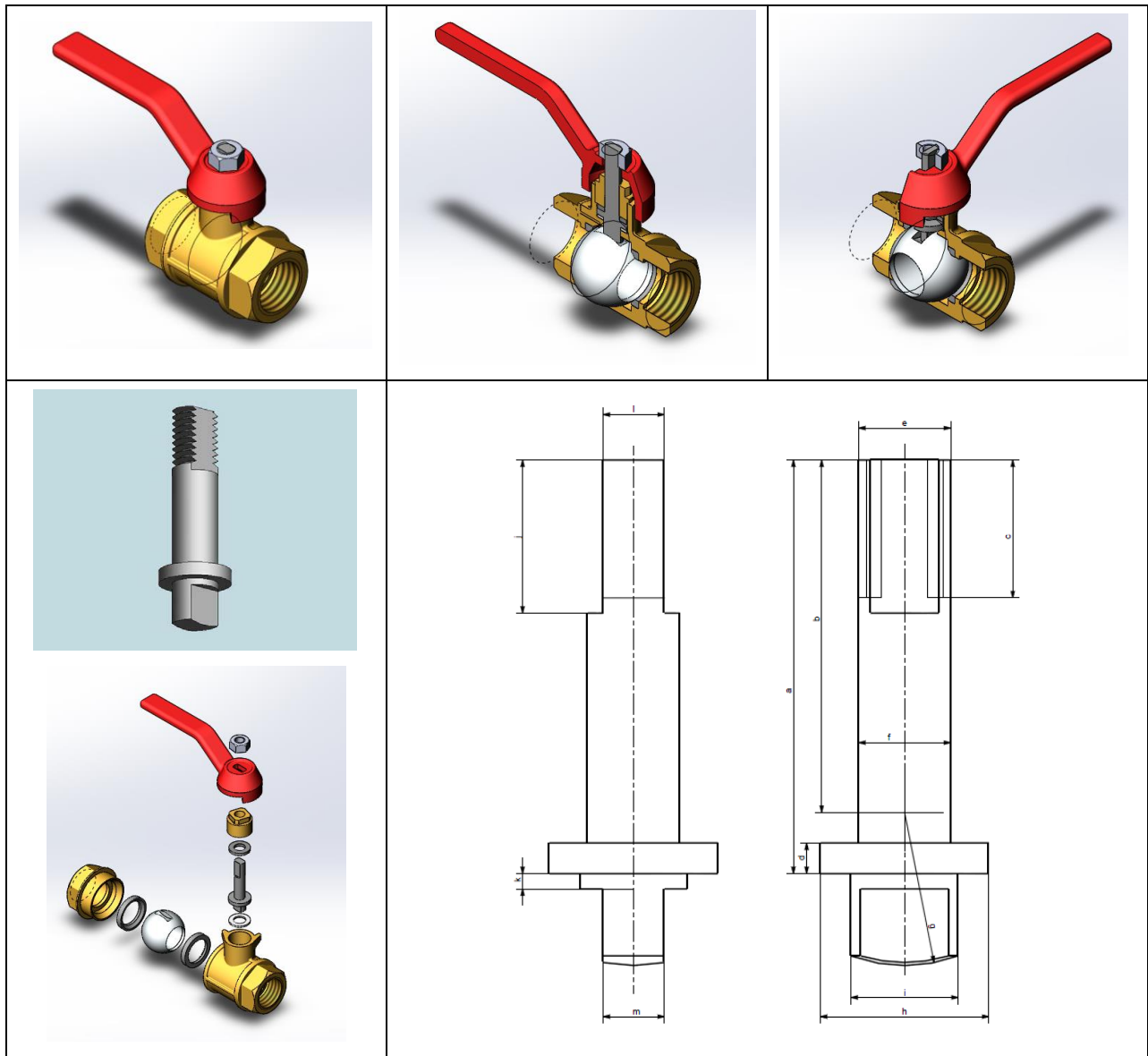
- El cono 1 es tangente a PH a lo largo de una generatriz frontal; el punto más alto dista 200 de PH. Su desarrollo es un sector circular de 120° .
- Los cilindros 2 y 3 son iguales, de eje vertical que mide 200, base en PH y tangentes al cono 1 en sendos puntos que están a una distancia de 90 del vértice del cono.
- Esfera 4 tangente a PH, al cono 1 y a los dos cilindros 2 y 3. La esfera tiene el mismo diámetro que los cilindros.
- Cilindro 5, tangente a los cilindros 2 y 3 y a la esfera. La base es tangente a la base del cono 1 y está limitado por un PH que pasa por el centro de la esfera.
- Cilindro 6 que interseca al cilindro 5 según una sección plana y limitado por PH.



CONJUNTO. Relación forma/función. Diseño de una pieza

Diseño de una pieza compatible con otras piezas dadas tal que permita el funcionamiento de un mecanismo. En este caso, una válvula de bola. Algunas piezas podrían modelarse en prácticas anteriores.

- Modelar en 3D el eje que falta. Determinar las medidas necesarias para que el mecanismo funcione perfectamente.
- Ensamblar en 3D las piezas del mecanismo atendiendo a sus relaciones de posición y comprobando las colisiones respectivas
- Obtener una representación diédrica normalizada del conjunto montado, con vistas y cortes necesarios. Listado de materiales.
- Perspectiva axonométrica del conjunto explosionado.



REFERENCIAS

- Adanez, G. y Velasco, A., 2002. Predicting Academic Success of Engineering Students in Technical Drawing from Visualization Test Scores. *Journal for Geometry and Graphics*. Recuperado de : <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.114.7527&rep=rep1&type=pdf>.
- Alarcón, G. ; Cservenka, A.; Fair, D.A.; Nagel, B.J. y otros, 2014. Sex differences in the neural substrates of spatial working memory during adolescence are not mediated by endogenous testosterone. *Brain research*. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006899314013067>
- Aliaga, J.J.; Casati, M.J.; Rúa, J.J., 2008. Implantación de metodologías activas basadas en la materialización mediante maquetas de proyectos de ingeniería, con contenidos transversales. In *XX Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*. Valencia.
- Alias, M., Black, T. y Gray, D., 2002. Effect of instruction on spatial visualization ability in civil engineering students. *International Education Journal*. Recuperado de: <http://eprints.uthm.edu.my/1815/>.
- Atit, K., Shipley, T.F. y Tikoff, B., 2013. Twisting space: are rigid and non-rigid mental transformations separate spatial skills? *Cognitive processing*, 14(2), pp.163–73. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23423639>
- Bannatyne, A., 2003. Multiple intelligences. *Bannatyne reading, writing, spelling and language* Recuperado de: https://scholar.google.es/scholar?q=Bannatyne%2C+A.+%282003%29.+Multiple+intelligences.+Bannatyne+Reading+Program&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5#0
- Basham, K. y Kotrlík, J., 2008. The effects of 3-dimensional CADD modeling on the development of the spatial ability of technology education students. *From the Editor*. Recuperado de: <http://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/8430/v20n1.pdf?sequence=1#page=32>
- Bennett, G.K., Seashore, H.G. y Wesman, A., 1973. Differential aptitude tests, Forms S and T. *The Psychological Corporation, New York*.
- Bowers, C.A. y LaBarba, R.C., 1988. Sex differences in the lateralization of spatial abilities: A spatial component analysis of extreme group scores. *Brain and cognition*, 8(2), pp.165–177.
- Branoff, T., 2009. The effects of adding coordinate axes to a mental rotations task in measuring spatial visualization ability in introductory undergraduate technical graphics courses. *Engineering Design Graphics Journal*, 62(2).
- Branoff, T. y Dobelis, M., 2013. Spatial Visualization Ability and Students' Ability to Model Objects from Engineering Assembly Drawing Information. *Web Graphics*. Recuperado de: http://edgd.asee.org/conferences/proceedings/68th_Midyear/EDGD_68th_Midyear_Conference_Proceedings_October_2013_Non-Editable.pdf#page=13
- Branoff, T.J., 2000. Spatial Visualization Measurement: A Modification of the Purdue Spatial Visualization Test - Visualization of Rotations. *Engineering Design Graphics Journal*, 64(2), pp.14–22.

- Branoff, T.J. y Carolina, N., 2014. Relationship Between Students ' Spatial Visualization Ability and their Ability to Create 3D Constraint-Based Models from Various Types of Drawings Relationship Between Students ' Spatial Visualization.
- Burin, D.I. y Delgado, A.R., 2000. Solution strategies and gender differences in spatial visualization tasks. *Psicológica*, pp.275–286.
- Carroll, 1993. The Cambridge Handbook of Phonology. Recuperado de: <http://ebooks.cambridge.org/ref/id/CBO9780511486371>.
- Casey, B.M.; Pezaris, E.; Fineman, B.; Pollock, A.; Demers, L.; Dearing, E. y otros, 2015. A longitudinal analysis of early spatial skills compared to arithmetic and verbal skills as predictors of fifth-grade girls' math reasoning. *Learning and Individual Differences*. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1041608015000862>
- Cataloglu, E. y Robinett, R.W., 2002. Testing the development of student conceptual and visualization understanding in quantum mechanics through the undergraduate career. *American Journal of Physics*, 70(3), p.238. Recuperado de: <http://scitation.aip.org/content/aapt/journal/ajp/70/3/10.1119/1.1405509>
- CEEB, 1939. CEEB Special Aptitude Test in Spatial Relations (MCT) Developed by the College Entrance Examination Board, USA.
- Cherney, I.D., 2008. Mom, Let Me Play More Computer Games: They Improve My Mental Rotation Skills. *Sex Roles*, 59(11-12), pp.776–786. Recuperado de: <http://link.springer.com/10.1007/s11199-008-9498-z>.
- Cochran, K.F. y Wheatley, G.H., 1989. Ability and sex-related differences in cognitive strategies on spatial tasks. *The Journal of general psychology*, 116(1), pp.43–55.
- Cohen, C.A. y Hegarty, M., 2012. Inferring cross sections of 3D objects: A new spatial thinking test. *Learning and Individual Differences*, 22(6), pp.868–874. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1041608012000635>
- Cohen, C.A. y Hegarty, M., 2014. Visualizing cross sections: Training spatial thinking using interactive animations and virtual objects. *Learning and Individual Differences*, 33, pp.63–71. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1041608014000739>
- Collaer, M.L., Reimers, S. y Manning, J.T., 2007. Visuospatial performance on an internet line judgment task and potential hormonal markers: sex, sexual orientation, and 2D:4D. *Archives of sexual behavior*, 36(2), pp.177–92. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17380373>.
- Comesaña, A. ; Alegre, P., 2009. Actividades manipulativas dirigidas a la enseñanza: Origami para ingenieros. In *Congreso Internacional conjunto XXI Ingegraf – XVII ADM*. Lugo.
- Company, P.; Contero, M.; Piquer, A.; Aleixos, N.; Conesa, J.; Naya, F., 2003. Aplicación docente de un programa de modelado 3D mediante bocetos axonométricos. In *Congreso Internacional conjunto XV Ingegraf – XIII ADM sobre Herramientas y métodos en diseño de ingeniería*. Italia.
- Connolly, P.E., 2009. Spatial Ability Improvement and Curriculum Content. , pp.1–5.

- Contero, M.; Naya, F.; Company, P.; Saorin, J.L.; Conesa, J. y otros, 2005. Improving Visualization Skills in Engineering Education. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 25(5), pp.24–31. Recuperado de: <http://ieeexplore.ieee.org/articleDetails.jsp?arnumber=1510535>
- Contero, M., Company, P., Saorin, J., y Naya, F., 2006. Learning Support Tools for Developing Spatial Abilities in Engineering Design. *International Journal Engineering and Education*, 22 (3), pp.470–477.
- Contreras, M.J., Martínez-Molina, A.; Manzanero, A.; Peña, D y Santacreu, J. ¿Mejora el rendimiento espacial por efecto de la práctica? *anales de psicología*, 25(2), pp.351–357.
- Crown, S., 2001. Improving visualization skills of engineering graphics students using simple JavaScript web based games. *Journal of Engineering Education*. Recuperado de: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/j.2168-9830.2001.tb00613.x/abstract>
- Deno, J., 1995. The Relationship of Previous Experiences to Spatial Visualization Ability. *Engineering Design Graphics Journal*. Recuperado de: http://scholar.google.es/scholar?start=20&q=-visualization+students+engineering&hl=es&as_sdt=0.5#4
- Dorval, M. y Pepin, M., 1986. Effect of playing a video game on a measure of spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*. Recuperado de: <http://www.amsciepub.com/doi/pdf/10.2466/pms.1986.62.1.159>
- Duff, S.J. y Hampson, E., 2001. A sex difference on a novel spatial working memory task in humans. *Brain and cognition*, 47(3), pp.470–93. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278262601913260>
- Dunning, D.L. y Holmes, J., 2014. Does working memory training promote the use of strategies on untrained working memory tasks? *Memory & cognition*, 42(6), pp.854–62. Recuperado de: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=4110412&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- Eliot, J. y Smith, I., 1983. *An international directory of spatial tests* NFER-Nelson, ed., Windsor. Recuperado de: <https://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=J.+Eliot%2C+IM+Smith+1983&btnG=&lr=#0>
- Fadón, F.; Villar del Fresno, E.; Vallejo Lobete, E., 2000. Representación de tres dimensiones en dos. In Santander.
- Feng, J., Spence, I. y Pratt, J., 2007. Playing an action video game reduces gender differences in spatial cognition. *Psychological science*, 18(10), pp.850–5. Recuperado de: <http://pss.sagepub.com/content/18/10/850.short>
- Fennema, E. y Sherman, J., 1977. Sex-Related Differences in Mathematics Achievement, Spatial Visualization and Affective Factors. *American Educational Research Journal*, 14(1), pp.51–71. Recuperado de: <http://aer.sagepub.com/content/14/1/51.short>
- Fischer, S.C. ; Hickey, D. T.; Pellegrino, J. W.; Law, D.J.y otros. Learning and individual differences, 6(1), pp.65–105.

- Flórez Pérez, A., Rodríguez Ordóñez, E. y Alvarez Cuervo, R., 2001. Sistema De Apoyo Al Desarrollo De La Percepción Espacial Basado En VRML. In *XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*. Badajoz.
- Font Andreu, J., 2007. *Impacto tecnológico del CAD en la docencia de la expresión gráfica en la Ingeniería*. Universitat de Barcelona. Departament de Dibuix. Recuperado de: <http://www.tdx.cat/TDX-0917107-092345>.
- Frías- Navarro, D. y Pascual Soler, M., 2012. Exploratory factor Analysis (EFA) in consumer behavior and marketing research. *Suma Psicológica*, 19(1), pp.47–58. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-43812012000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=es.
- Frick, A., Möhring, W. y Newcombe, N.S., 2014. Development of mental transformation abilities. *Trends in cognitive sciences*. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364661314001326>
- García,M.; Martín,G; Suárez,J.P.; Pérez,J.; Suárez, F., 2002. S.A.D. (Sistema de Apoyo al Dibujo): Una herramienta integrada en la enseñanza de la Expresión Gráfica. In *XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*. Santander.
- Gardner, H., 1994. *Estructuras de la mente. La Teoría de Las Inteligencias Múltiples*, Recuperado de: [http://educreate.iacat.com/Maestros/Howard_Gardner - Estructuras de la mente.pdf](http://educreate.iacat.com/Maestros/Howard_Gardner_-_Estructuras_de_la_mente.pdf).
- Gardner, H., 2005. Inteligencias múltiples. *Paidós*, pp.1–14. Recuperado de: http://ict.edu.ar/renovacion/wp-content/uploads/2012/02/Gardner_inteligencias.pdfhttp://datateca.unad.edu.co/contenidos/401509/2014-1/unidad_1/Gardner_inteligencias.pdf.
- Gardner, H., 2011. *La inteligencia reformulada: Las inteligencias múltiples en el siglo XXI* Grupo Plan., Recuperado de: <https://books.google.com/books?id=E6PUQZaL9FEC&pgis=1>.
- Garmendia, M.; Gisasola, J.; Gorozika, J., 2004. Enseñanza de la visualización de piezas como resolución de problemas. In *XVI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*. Zaragoza.
- Geiser, C., Lehmann, W. y Eid, M., 2008. A note on sex differences in mental rotation in different age groups. *Intelligence*, 36(6), pp.556–563. Recuperado de: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-53849140112&partnerID=tZOtx3y1>.
- Geiser, C., Lehmann, W. y Eid, M., 2006. Separating “Rotators” From “Nonrotators” in the Mental Rotations Test: A Multigroup Latent Class Analysis. *Multivariate Behavioral Research*, 41(3), pp.261–293.
- Gerson, H.B.P.; Sorby, S. A.; Wysocki, A.; Baartmans, B.J.y otros 2001. The development and assessment of multimedia software for improving 3-D spatial visualization skills. *Computer Applications in Engineering Education*, 9(2), pp.105–113. Recuperado de: <http://doi.wiley.com/10.1002/cae.1012>.
- Gluck, J. y Fitting, S., 2003. Spatial Strategy Selection: Interesting Incremental Information. *International Journal of Testing*, 3(3), pp.293–308. Recuperado de: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/S15327574IJT0303_7#.VR_TePmsU4q

- Green, C.S. y Bavelier, D., 2003. Action video game modifies visual selective attention. *Nature*, 423(6939), pp.534–7. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12774121>.
- Guay, R., 1977. Purdue spatial visualization test: Rotations.
- Guillot, A.; Champely, S.; Batier, C.; Thiriet, P.; Collet, C. y otros, 2007. Relationship between spatial abilities, mental rotation and functional anatomy learning. *Advances in health sciences education*, 12(4), pp.491–507.
- Halpern, D.F. ; Benbow, C. P.; Geary, D.C.; Gur, R.C.; Hyde, J.S.; Gernsbacher, M. A. y otros., 2007. The Science of Sex Differences in Science and Mathematics. *Psychological Science in the Public Interest*, 8(1), pp.1–51. Recuperado de: <http://psi.sagepub.com/content/8/1/1.short>.
- Harris, J., Hirsh-Pasek, K. y Newcombe, N.S., 2013. Understanding spatial transformations: similarities and differences between mental rotation and mental folding. *Cognitive processing*, 14(2), pp.105–15. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23397105>.
- Harris, L.J., 1978. Sex differences in spatial ability: Possible environmental, genetic, and neurological factors.
- Hegarty, M., 2012. *The Psychology of Learning and Motivation*, 57(10), pp.57–101. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123942937000029>.
- Hegarty, M.; Montello, D.R.; Richardson, A.E.; Ishikawa, T.; Lovelace, K. y otros, 2006. Spatial abilities at different scales: Individual differences in aptitude-test performance and spatial-layout learning. *Intelligence*, 34, pp.151–176.
- Hegarty, M., Kozhevnikov, M. y Waller, D., 2004. Perspective taking / spatial orientation test. *Intelligence*, 32(January), pp.175–191.
- Hegarty, M. y Waller, D., 2004. A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence*, 32(2), pp.175–191.
- Hegarty, M., y Waller, D.A., 2005. *Individual differences in spatial abilities. The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking*, Cambridge University Press. Recuperado de: https://books.google.com/books?id=m91B8zm_1qgC&pgis=1.
- Hernández, V.;Hernández, F.; Ochoa, M.; Font, J., 2006. *Ingeniería Gráfica, Diseño y Normalización*,
- Hill, A.C., Laird, A.R. & Robinson, J.L., 2014. Gender differences in working memory networks: A BrainMap meta-analysis. *Biological psychology*, 102C, pp.18–29. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301051114001185>
- Hirnstien, M., Bayer, U. y Hausmann, M., 2009. Sex-specific response strategies in mental rotation. *Learning and Individual Differences*, 19(2), pp.225–228.
- Höffler, T.N., 2010. Spatial ability: Its influence on learning with visualizations—a meta-analytic review. *Educational psychology review*, 22(3), pp.245–269.
- Hsi, S., Linn, M.C. y Bell, J.E., 1997. The Role of Spatial Reasoning in Engineering and the

- Design of Spatial Instruction. *Journal of Engineering Education*, 86(2), pp.151–158. Recuperado de: <http://doi.wiley.com/10.1002/j.2168-9830.1997.tb00278.x>
- Iwanowska, K. y Voyer, D., 2013. Dimensional transformation in tests of spatial and environmental cognition. *Memory & cognition*, 41(8), pp.1122–31. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23512503>.
- Janssen, A.B. y Geiser, C., 2011. Cross-Cultural Differences in Spatial Abilities and Solution Strategies-- An Investigation in Cambodia and Germany. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 43(4), pp.533–557. Recuperado de: <http://jcc.sagepub.com.sire.ub.edu/content/43/4/533>.
- Johnson, M.; Labranche, L.; DeGuzman, J.; Nguyen, N. y otros, 2014. Does Tetris training improve spatial anatomy task scores and aid anatomy comprehension? *EDULEARN14 Proceedings*, p.1124. Recuperado de: <http://library.iated.org/view/JOHNSON2014DOE>.
- Just, M. y Carpenter, P., 1976. Eye fixations and cognitive processes. *Cognitive Psychology*, 8(4), pp.441–480.
- Just, M. y Carpenter, P., 1985. Cognitive coordinate systems: Accounts of mental rotation and individual differences in spatial ability. *Psychological review*, (2), pp.137–172. Recuperado de: <http://psycnet.apa.org/journals/rev/92/2/137/>.
- K. Makino, T. Saito, K. Shiina, K. Suzuki, T.J., 1992. Analysis of Problem Solving Process of a Mental Cutting Test by the Use of Eye Fixations Data. In *5th ASEE International Conference ECGDG*, Melbourne, Australia, pp. 398–402.
- Kaufman, S.B., 2007. Sex differences in mental rotation and spatial visualization ability: Can they be accounted for by differences in working memory capacity? *Intelligence*, 35(3), pp.211–223. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160289606000821>
- Kaufmann, H., 2008. Design of a virtual reality supported test for spatial abilities. *Proceedings of the* Recuperado de: http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_170660.pdf.
- Kelly, W.F., 2013. *Measurement of Spatial Ability in an Introductory Graphic Communications Course*.
- Kinsey, B., 2003. Design of a CAD integrated physical model rotator. *2003 Annual Conference & Exposition Engineering* Recuperado de: http://amp.ni.com/pdf/academic/us/journals/Design_of_a_CAD.pdf
- Kinsey, B., Towle, E. y Onyancha, R., 2009. Improvement of Spatial Ability Using Innovative Tools: Alternative View Screen and Physical Model RotatorR. *Engineering Design Graphics Journal*. Recuperado de: <http://edgj.org/index.php/EDGJ/article/view/9>.
- Kovács, A.Z. y Németh, L., 2014. Development of Spatial Ability According to Mental Rotation Test at SKF and YBL. *YBL Journal of Built Environment*, 2(1), pp.18–29. Recuperado de: <http://www.degruyter.com/view/j/jbe.2014.2.issue-1/jbe-2014-0002/jbe-2014-0002.xml>.
- Kozhevnikov, M.; Schloerb, D. W.; Blazhenkova, O.; Koo, S.; Karimbux, N.; Donoff, R. B.; Salcedo, J. y otros, 2013. Egocentric versus Allocentric Spatial Ability in Dentistry and

- Haptic Virtual Reality Training. *Applied Cognitive Psychology*, 27(3), pp.373–383. Recuperado de: <http://doi.wiley.com/10.1002/acp.2915>.
- Kurtuluş, A., 2013. The effects of web-based interactive virtual tours on the development of prospective mathematics teachers' spatial skills. *Computers & Education*, 63, pp.141–150. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131512002746>.
- Kyllonen, P.C., Lohman, D.F. y Woltz, D.J., 1984. Componential modeling of alternative strategies for performing spatial tasks. *Journal of Educational Psychology*, 76(6), pp.1325–1345.
- De la Torre Cantero, J.; Saorín, J.L.; Carbonell, C.; Del Castillo Cossío, M.D.; Contero, M. J. y otros, 2012. Modelado 3d como herramienta educativa para el desarrollo de competencias de los nuevos grados de Bellas Artes. *Arte, Individuo y Sociedad*, 24(2), pp.179–193. Recuperado de: <http://revistas.ucm.es/index.php/ARIS/article/view/39025>.
- Labranche, L.; Johnson, M.; Allman, B.; Nguyen, N. y otros, 2014. Tetris as homework: does videogame training improve spatial anatomy comprehension? (725.4). *FASEB J*, 28(1_Supplement), p.725.4–. Recuperado de: http://www.fasebj.org/content/28/1_Supplement/725.4.short
- Lasa, N.B. y Iraeta, A.I.V., 2002. *Diseños de investigación experimental en psicología: modelos y análisis de datos mediante el SPSS 10.0*, Recuperado de: https://books.google.es/books/about/Dise%C3%B1os_de_investigaci%C3%B3n_experimental.html?id=F6g6mEqC8CIC&pgis=1.
- Laski, E. V., Casey, B.M. y Yu, Q., 2013. Spatial skills as a predictor of first grade girls' use of higher level arithmetic strategies. , 23, pp.123–130. Recuperado de: http://apps.isiknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=10&SID=4FrHYVV8oBKtqjzspcc&page=1&doc=1.
- Lawton, C.A., 1994. Gender differences in way-finding strategies: Relationship to spatial ability and spatial anxiety. *Sex roles*, 30(11-12), pp.765–779.
- Leopold, C., Renata, A. y Sorby, S., 2001. International Experiences in Developing the Spatial Visualization Abilities of Engineering Students. *Journal for Geometry and Graphics*. Recuperado de: http://www.uni-kl.de/AG-Leopold/dg/mediadata/fachgebiet/personen/aufsatz_vol51.ps
- Leopold, C., Sorby, S.A. y Górska, R., 1996. Gender differences in 3-D visualization skills of engineering students. *Proceedings of the 7th International Conference on Engineering Computer Graphics and Descriptive Geometry*, (págs. 560-564). Poland. Recuperado de: <http://suw.biblos.pk.edu.pl/resourceDetailsBPP&rld=31944>
- Li, P., 2014. Study on the Correlation between Drawing Education and Special Cognitive Ability Evaluation Based on the MCT. In *Materials Science Forum*. pp. 684–687. Recuperado de: <http://www.scientific.net/MSF.800-801.684>.
- Liben, L.S., Kastens, K.A. y Christensen, A.E., 2011. Spatial Foundations of Science Education: The Illustrative Case of Instruction on Introductory Geological Concepts. *Cognition and Instruction*, 29(1), pp.45–87. Recuperado de:

<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07370008.2010.533596>

- Linn, M.C. y Petersen, A.C., 1985. Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child development*, pp.1479–1498.
- Lippa, R.A., Collaer, M.L. y Peters, M., 2010. Sex differences in mental rotation and line angle judgments are positively associated with gender equality and economic development across 53 nations. *Archives of sexual behavior*, 39(4), pp.990–7. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19130205>.
- De Lisi, R. y Wolford, J.L., 2002. Improving children's mental rotation accuracy with computer game playing. *The Journal of genetic psychology*, 163(3), pp.272–82. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12230149>.
- Lloret-Segura, S.; Ferreres-Traver, A.; Hernández-Baeza, A.; Tomás-Marco, I. y otros, 2014. El análisis factorial exploratorio de los ítems: una guía práctica, revisada y actualizada. *Anales de Psicología*, 30(3), pp.1151–1169. Recuperado de: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-97282014000300040&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- Lohman, D.F., 1979. Spatial Ability: A Review and Reanalysis of the Correlational Literature. , p.226. Recuperado de: http://www.researchgate.net/publication/235040065_Spatial_Ability_A_Review_and_Reanalysis_of_the_Correlational_Literature.
- Lohman, D.F., Nichols, P.D., 1990. Effects of practice on rotation and synthesis tasks. *Learning and Individual Differences*, 2, pp.67–93.
- Lowery, B. y Knirk, F., 1982. Micro-computer video games and spatial visualization acquisition. *Journal of Educational Technology Systems*. Recuperado de: <http://baywood.metapress.com/index/3PANCHJMMRT0LW6AC.pdf>.
- Luursema, J.-M.; Buzink, S.N.; Verwey, W. B.; Jakimowicz, J.J. y otros, 2010. Visuo-spatial ability in colonoscopy simulator training. *Advances in health sciences education*, 15(5), pp.685–694.
- Maeda, Y. y Yoon, S.Y., 2013. A Meta-Analysis on Gender Differences in Mental Rotation Ability Measured by the Purdue Spatial Visualization Tests: Visualization of Rotations (PSVT:R). *Educational Psychology Review*, 25, pp.69–94.
- Maier, P.H., 1996. Spatial geometry and spatial ability—How to make solid geometry solid. In *Selected papers from the Annual Conference of Didactics of Mathematics*. pp. 63–75.
- Mann, R.L., 2014. Patterns of Response: A Case Study of Elementary Students With Spatial Strengths. *Roeper Review*, 36(1), pp.60–69. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1080/02783193.2013.856831>
- Markopoulos, C.; Chaseling, M.; Petta, K.; Lake, W.; Boyd, W.Cy otros, 2015. Pre-Service Teachers ' 3D Visualization Strategies. , (June), pp.1053–1059.
- Martín D., N.N., 2009. *Análisis del uso de dispositivos móviles en el desarrollo de estrategias de mejora de las habilidades espaciales*. Recuperado de:

<http://hdl.handle.net/10251/11796>.

Martín Gutiérrez, J., 2010. *Estudio y evaluación de contenidos didácticos en el desarrollo de las habilidades espaciales en el ámbito de la ingeniería*. Universitat Politècnica de València. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10251/7527>.

Martín-Dorta, N., Saorín, J.L. y Contero, M., 2008. Development of a Fast Remedial Course to Improve the Spatial Abilities of Engineering Students. *Journal of Engineering Education*, 97(4), pp.505–513. Recuperado de: <http://doi.wiley.com/10.1002/j.2168-9830.2008.tb00996.x>

Martin-Dorta, N., Martin-Gutierrez, J., Saorín, J., Contero, M., y Navarro, R., 2008. Propuesta de actividades para el desarrollo de las habilidades espaciales en los estudiantes de ingeniería. In *Actas XX Congreso Internacional Ingeniería Gráfica. Valencia, España*.

Martín-G., J.; Martín-D., N.; Saorín, J.L.; Contero, M.; Navarro, R., 2009. La capacidad de visión especial en el contexto del Espacio Europeo de Educación Superior. In *Congreso Internacional conjunto XXI Ingegraf – XVII ADM*. Lugo.

Martín-G., J.; Martín-D., N.; Saorín, J.L.; Contero, M.; Navarro, R., 2008. Aplicaciones Web para el desarrollo de las habilidades espaciales. In *XX Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*. Valencia.

Martin-Gutierrez, J., Garcia-Dominguez, M. & y Roca-Gonzalez, C., 2013. Comparative Analysis Between Training Tools in Spatial Skills for Engineering Graphics Students Based in Virtual Reality, Augmented Reality and PDF3D Technologies. , 25, pp.360–363. Recuperado de: http://apps.isiknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=10&SID=4FrHYVV8oBKtqjzspcc&page=1&doc=8

Marunic, G. y Glazar, V., 2014. Improvement and Assessment of Spatial Ability in Engineering Education. *Engineering Review*, 34(2), pp.139–150.

Mataix Sanjuán, J., 2014. La habilidad espacial en los estudiantes de carreras técnicas. Desarrollo, medida y evaluación en el Marco europeo de Educación Superior. Recuperado de: <http://tdx.cat/handle/10803/284003>.

Mataix Sanjuán, J., León Robles, C. & Montes Tubío, F.D.P., 2014. Las habilidades espaciales de los estudiantes de las nuevas titulaciones técnicas. Estudio en la Universidad de Granada. *EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica*, 19(24), p.264. Recuperado de: <http://polipapers.upv.es/index.php/EGA/article/view/1767>.

McGee, M.G., 1979. Human spatial abilities: psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological bulletin*, 86(5), p.889.

Medina, A.C.; Gerson, H.B.; Caetano, S.; Brazil, S P.; Sorby, S. y otros 1998. Identifying Gender Differences in the 3-D Visualization Skills of Engineering Students in Brazil and in the United.

Melgosa Pedrosa, C., Ramos Barbero, B. y Baños García, M.E., 2013. Interactive learning management system to develop spatial visualization abilities. *Computer Applications in Engineering Education*, p.n/a–n/a. Recuperado de:

<http://doi.wiley.com/10.1002/cae.21590>.

- Melgosa, C.; Ramos, B.; Baños, E.; García, E., 2009. Herramientas Web para el desarrollo de la visión espacial y el seguimiento del aprendizaje. In *Congreso Internacional conjunto XXI Ingegraf – XVII ADM*. Lugo.
- Melgosa, C.; Ramos, B.; Baños, E.; García, E. Román, A., 2011. Designing an interactive web manager applied to the development of spatial abilities. In *IMProVe International Conference on Innovative Methods in Product Design. (ADM-INGEGRAF)*. Venice.
- Meneghetti, C., Pazzaglia, F. y De Beni, R., 2012. Which spatial abilities and strategies predict males' and females' performance in the object perspective test? *Cognitive processing*, 13 Suppl 1, pp.S267–70. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22802042>.
- Milne, M.; Morris, R.; Katz, T.; Covill, D.; Elton, E. y otros, 2014. Culturally Influenced Learning : Why do some students have difficulties Visualising in 3D ? , (September).
- Moè, A., Meneghetti, C. y Cadinu, M., 2009. Women and mental rotation: Incremental theory and spatial strategy use enhance performance. *Personality and Individual Differences*, 46(2), pp.187–191. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.paid.2008.09.030>.
- Moreau, D., 2013. Differentiating two- from three-dimensional mental rotation training effects. *Quarterly journal of experimental psychology (2006)*, 66(7), pp.1399–413. Recuperado de: http://www.researchgate.net/publication/233722813_Differentiating_two-_from_three-dimensional_mental_rotation_training_effects.
- Moreau, D.; Clerc, J.; Mansy-Dannay, A.; Guerrien, A. y otros, 2012. Enhancing spatial ability through sport practice: Evidence for an effect of motor training on mental rotation performance. *Journal of Individual Differences*, 33(2), p.83.
- Németh, B., 2007. Measurement of the development of spatial ability by Mental Cutting Test. Recuperado de: <http://www.kurims.kyoto-u.ac.jp/EMIS/journals/AMI/2007/ami2007-nemeth.pdf>.
- Németh, B. y Hoffmann, M., 2006. Gender differences in spatial visualization among engineering students. *Annales Mathematicae et Informaticae*. Recuperado de: <ftp://129.132.148.133/hg/EMIS/journals/AMI/2006/ami2006-nemeth-hoffmann.pdf>.
- Norman, K.L., 1993. Spatial Visualization--A Gateway to Computer-Based Technology. *Journal of Special Education Technology*, 12(3), pp.195–206. Recuperado de: <http://eric.ed.gov/?id=EJ492957>.
- Ochoa de Eribe, J.I., 2005. De Hohenberg a Bolonia: Propuesta de una guía docente. In *XVII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*. Sevilla.
- Ochoa de Eribe, J.I.; Berrio-Otxoa, L.M., 2007. Fomento del auto-aprendizaje bajo plataformas virtuales WEB, de los contenidos específicos para la definición formal y dimensional, de componentes industriales no normalizados. In *Congreso Internacional conjunto XIX Ingegraf – XVI ADM*. Perugia.
- Okagaki, L. & Frensch, P.A., 1994. Effects of video game playing on measures of spatial performance: Gender effects in late adolescence. *Journal of Applied Developmental*

Psychology, 15(1), pp.33–58.

- Olkun, S., 2003. Improving spatial abilities with engineering drawing activities. *International Journal of Mathematics Teaching and ...*. Recuperado de: <http://www.cimt.plymouth.ac.uk/Journal/sinanolkun.pdf>.
- Onyancha, R., Towle, E. y Kinsey, B., 2007. Improvement of spatial ability using innovative tools: Alternative View Screen and Physical Model Rotator. Recuperado de: http://www.icee.usm.edu/icee/conferences/asee2007/papers/290_IMPROVEMENT_OF_SPATIAL_ABILITY_USING_INN.pdf.
- Oostermeijer, M., Boonen, A.J.H. y Jolles, J., 2014. The relation between children's constructive play activities, spatial ability, and mathematical word problem-solving performance: a mediation analysis in sixth-grade students. *Frontiers in psychology*, 5, p.782. Recuperado de: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=4102248&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.
- Ortega, J.M., Urraza, G. y Doria, J., 2008. Competencias en dibujo de Ingeniería Industrial demandadas por las empresas del País Vasco y acciones de mejora propuestas en respuesta al Espacio Europeo de Educación Superior. In *XX Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*. Valencia.
- Palmer, P.; Colburn, C.; Holland, A.; Ooten, S.; Robertson, L. y otros, 2015. The Effect of Spatial Ability on Speed and Accuracy of Identifying Anatomical Structures (344.3). *FASEB J*, 29(1_Supplement), p.344.3–. Recuperado de: http://www.fasebj.org/content/29/1_Supplement/344.3.short.
- Peña, D.; Contreras, M.J.; Shih, P.C.; Santacreu, J. y otros, 2008. Solution strategies as possible explanations of individual and sex differences in a dynamic spatial task. *Acta Psychologica*, 128(1), pp.1–14.
- Pérez Carrión, M.T. et al., 2006. Las maquetas como material didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la lectura e interpretación de planos en la ingeniería. Available at: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/21685>
- Pérez Carrión, T. ; Serrano, M.; Díaz, M. C.; Jover, R T; Sentana, I y otros., 2002. El desarrollo de la percepción espacial en la formación de los alumnos de estudios técnicos universitarios “. In *XIV Congreso Internacional de Ingeniería Expresión*. Santander.
- Pérez Carrión, T.; Serrano Cardona, M., 1998. *Ejercicios para el desarrollo de la percepción espacial* Editorial ECU, ed.,
- Peters, M.; Laeng, B; Latham, K; Jackson, M; Zaiyouna, R; Richardson, C y otros, 1995. A redrawn Vandenberg and Kuse mental rotations test: different versions and factors that affect performance. *Brain and cognition*, 28(1), pp.39–58. REcuperado de: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0029315746&partnerID=tZOtx3y1>.
- Phelps, T.; Nguyen, N.; Edmondson, A.; Martin, C. y otros, 2015. The Influence of Spatial Ability on High and Low Order Anatomy Examination Questions. *FASEB J*, 29(1_Supplement), p.689.3–. Recuperado de: http://www.fasebj.org/content/29/1_Supplement/689.3.short.
- Ping, L., 2015. Research on the Effects of Spatial Cognition by Emulation Model and

- Perspective Model in MCT. , 8(5), pp.145–150.
- Pittalis, M. y Christou, C., 2010. Types of reasoning in 3D geometry thinking and their relation with spatial ability. *Educational Studies in Mathematics*, 75(2), pp.191–212.
- Pletzer, B., 2014. Sex-specific strategy use and global-local processing: a perspective toward integrating sex differences in cognition. *Frontiers in neuroscience*, 8, p.425. Recuperado de: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fnins.2014.00425/abstract>.
- Prádanos, R.; Sanz, J.M.; González, J.; Hernández, L; Espinosa, M., 2009. Prácticas interactivas de Dibujo Técnico. In *Congreso Internacional conjunto XXI Ingegraf – XVII ADM*. Lugo.
- Pribyl, J.R. & Bodner, G.M., 1987. Spatial ability and its role in organic chemistry: A study of four organic courses. *Journal of research in science teaching*, 24(3), pp.229–240.
- Prugh, L.A., 2012. Spatial reasoning in undergraduate mathematics: A case study. Recuperado de: <http://gradworks.umi.com/35/07/3507410.html>.
- Rafi, A.; Anuar, K.; Samad, A.; Hayati, M.; Mahadzir, M.et al., 2005. Improving spatial ability using a Web-based Virtual Environment (WbVE). *Automation in Construction*, 14(6), pp.707–715. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580504001451>.
- Rafi, A. y Samsudin, K., 2009. Practising mental rotation using interactive Desktop Mental Rotation Trainer (iDeMRT). *British Journal of Educational Technology*, 40(5), pp.889–900. Recuperado de: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1467-8535.2008.00874.x>.
- Rafi, A., Samsudin, K.A. y Ismail, A., 2006. On improving spatial ability through computer-mediated engineering drawing instruction. *Educational Technology and Society*, 9, pp.149–159.
- Ramos, B.; García, E.; Baños, E.; Melgosa, C., 2003. Aprendizaje innovador en la visualización de piezas y dispositivos, en la formación de dibujo técnico mediante aplicación hipertexto. In *Congreso Internacional conjunto XV Ingegraf – XIII ADM sobre Herramientas y métodos en diseño de ingeniería*. Italia.
- Redick, T.S. y Webster, S.B., 2014. Videogame interventions and spatial ability interactions. *Frontiers in human neuroscience*, 8, p.183. Recuperado de: http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3972455&tool=pmcentrez&render_type=abstract.
- Resnick, I. y Shipley, T.F., 2013. Breaking new ground in the mind: an initial study of mental brittle transformation and mental rigid rotation in science experts. *Cognitive processing*, 14(2), pp.143–52. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23440527>.
- Robert, M. y Chevrier, E., 2003. Does men's advantage in mental rotation persist when real three-dimensional objects are either felt or seen? *Memory & Cognition*, 31(7), pp.1136–1145. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14704028>
- Rubio, R.; Suárez, J.; Gallego, R.; Martín, S.; Pérez del Amo, M.S. “Animación multimedia interactiva con Macromedia Flash en la enseñanza de la Expresión Gráfica.”. XVII

Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Sevilla 2005

Sánchez Carlessi, H. y Reyes Romero, C., 2003. *Psicología del aprendizaje y la educación superior* S. P. V. Universitaria, ed.,

Saorín, J. et al., 2009. La capacidad espacial y su relación con la Ingeniería. *Dyna*, 84, pp.721–732.

Saorín, J.L., Navarro, R. & Martín, N., 2005. Efecto de los programas de las asignaturas de Expresión Gráfica en el desarrollo de la visión y habilidades espaciales de los alumnos de carreras técnicas en la Universidad de La Laguna. In *XVII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Sevilla (España): INGEGRAF-ADM2005*.

Saorín Pérez, J.L., 2006. Estudio del efecto de la aplicación de tecnologías multimedia y del modelado basado en bocetos en el desarrollo de las habilidades espaciales. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10251/1881>.

Serrano, M. y Pérez, M., 1997. Percepción espacial y dibujo técnico. Método de autoformación del alumnado de las escuelas técnicas basado en los indicadores de la tercera dimensión. In *IX Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*. Bilbao.

Shah, D.S.; Prados, J.; Gamble, J.; De Lillo, C.; Gibson, C. L y otros, 2013. Sex differences in spatial memory using serial and search tasks. *Behavioural brain research*, 257, pp.90–9. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24076150>

Shea, D.L., Lubinski, D. y Benbow, C.P., 2001. Importance of assessing spatial ability in intellectually talented young adolescents: A 20-year longitudinal study. *Journal of educational psychology*, 93(3), p.604.

Shepard, S. y Metzler, D., 1988. Mental rotation: Effects of dimensionality of objects and type of task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14(1), pp.3–11. Recuperado de: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0023957498&partnerID=tZOtx3y1>.

Sierra, E.; Garmendia, M.; Barrenetxea, L.; Solaberrieta, E., 2009. Metodología para la resolución de problemas de visualización (Lectura, interpretación y creación de planos industriales). In *Congreso Internacional conjunto XXI Ingegraf – XVII ADM*. Lugo.

Silverman, I. & Phillips, K., 1998. The evolutionary psychology of spatial sex differences.

Šipuš, Ž.M. y Čižmešija, A., 2012. Spatial ability of students of mathematics education in Croatia evaluated by the mental cutting test. *Annales Mathematicae et Informaticae*, 40, pp.203–216. Recuperado de: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84871624609&partnerID=tZOtx3y1>.

Sjölander, M., 1998. Spatial cognition and environmental descriptions. In *Exploring Navigation: Towards a Framework for Design and Evaluation of Navigation in Electronic Spaces*. pp. 47–58. Recuperado de: <http://www.sics.se/humle/projects/persona/web/littsurvey/abstracts.html>.

Smith, I., 1964. Spatial ability: Its educational and social significance. Recuperado de: <https://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=Smith%2C+I.+M.+%281964%29.+Spatial+abilit>

y+-
+Its+educational+and+social+significance.+London%3A+University+of+London&btnG=&lr
=#0.

- Sorby, S., Nevin, E.; Behan, A.; Mageean, E.; Sheridan, S. y otros, 2014. Spatial Skills as Predictors of Success in First-year Engineering Spatial Skills as Predictors of Success in First-year Engineering.
- Sorby, S., Cubero, S., Pasha-zaidi, N.; Karki, H. y otros, 2014. World Congress on Engineering Education 2014 Spatial skills of engineering students in the United Arab Emirates.
- Sorby, S. y Baartmans, B., 2000. The Development and Assessment of a Course for Enhancing the 3-D Spatial Visualization Skills of First Year Engineering Students. *Journal of Engineering Education*. Recuperado de: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/j.2168-9830.2000.tb00529.x/abstract>.
- Sorby, S.A., 2009. Educational Research in Developing 3-D Spatial Skills for Engineering Students. *International Journal of Science Education*, 31(3), pp.459–480. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1080/09500690802595839>.
- Sorby, S.A. y Baartmans, B.J., 1995. A Course for the Development of 3-D Spatial Visualization Skills. *Engineering Design Graphics Journal*, 60(1), pp.13–20. Recuperado de: <http://eric.ed.gov/?id=EJ528391>.
- Sorby, S.A. y Wysocki, A.F., 2003. *Introduction to 3D Spatial Visualization: An Active Approach*, Cengage Learning. Recuperado de: <https://books.google.com/books?id=IPEtfT875uUC&pgis=1>.
- Steiner, S., Wagaman, M.A. y Lal, P., 2014. Thinking Spatially: Teaching an Undervalued Practice Skill. *Journal of Teaching in Social Work*, 34(4), pp.427–442. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1080/08841233.2014.933755>.
- Steinhauer, H.M., 2012. Correlation between a student's performance on the mental cutting test and their 3d parametric modeling ability. In *Engineering Design Graphics Journal*. pp. 44–48. Recuperado de: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84874258740&partnerID=tZOtx3y1>.
- Steinhauer, H.M., 2011. The transferability of the PSVT: R and the MCT for Measuring and Predicting Student 3D CAD Modelling Abilities. In *Research in Engineering Education Symposium 2011, REES 2011*. pp. 874–882. Recuperado de: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84883091745&partnerID=tZOtx3y1>.
- Steinhauer, H.M., 2011. Universidad Politécnica de Madrid (UPM). , (October).
- Stieff, M.; Dixon, B.L.; Ryu, M.; Kumi, B.C.; Hegarty, M. y otros, 2013. Strategy training eliminates sex differences in spatial problem solving in a stem domain.
- Strasser, I.; Koller, I.; Strauß, S.; Csisinko, M.; Kaufmann, H.; Glück, J. y otros, 2010. Use of strategy in a 3-dimensional spatial ability test. *Journal of Individual Differences*, 31(2), p.74.
- Subrahmanyam, K. y Greenfield, P.M., 1994. Effect of video game practice on spatial skills in girls and boys. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 15(1), pp.13–32.

Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0193397394900043>.

- Sutton, K. y Williams, A., 2008. Developing a discipline-based measure of visualisation. In *Proceedings of The Australian Conference on Science and Mathematics Education (formerly UniServe Science Conference)*.
- Sutton, K., Williams, A. y McBride, W., 2009. Exploring spatial ability and mapping the performance of engineering students. In *The 20th Australasian Association for Engineering Education Conference*. pp. 6–9.
- Sutton, K.J. y Williams, A.P., 2007. Spatial Cognition and its Implications for Design. *International Association of Societies of Design Research, Hong Kong, China*.
- Suzuki, K., Wakita, S. y Nagano, S., 1990. Improvement of Spatial Ability through Descriptive Geometry Education. *Journal of the Graphic Science of Japan*. Recuperado de: https://scholar.google.es/scholar?q=Improvement+of+Spatial+Ability+through+Descriptive+Geometry+Education+&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5#0.
- T. Saito, K. Makino, K. Shiina, K. Suzuki, T.J., 1994. Causes of Error in a Mental Cutting Test. In *6th ICECGDG*, Tokyo, Japan, pp. 815–819.
- Terlecki, M.S. y Newcombe, N.S., 2005. How important is the digital divide? The relation of computer and videogame usage to gender differences in mental rotation ability. *Sex Roles*, 53(5-6), pp.433–441.
- Terlecki, M.S., Newcombe, N.S. y Little, M., 2008. Durable and generalized effects of spatial experience on mental rotation: Gender differences in growth patterns. *Applied Cognitive Psychology*, 22(7), pp.996–1013.
- Titus, S. y Horsman, E., 2009. Characterizing and improving spatial visualization skills. *Journal of Geoscience Education*, 57(4), pp.242–254.
- Torner, J., 2009. *Desarrollo de habilidades espaciales en la docencia de la Ingeniería Gráfica*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Torner, J., Alpiste, F. y Brigos, M., 2014. Spatial Ability in Computer-Aided Design Courses. *Computer-Aided Design and Applications*, pp.1–9. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1080/16864360.2014.949572>.
- Torner, J.; Farrerons, O., 2006. Aplicación de software CAD en la enseñanza de la geometría del espacio para ingenieros. In *XVIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*. Sitges.
- Towle, E., Mann, J. y Kinsey, B., 2005. Work in progress-development of tools to improve the spatial ability of engineering students. *Frontiers in Education, 2005. FIE'* Recuperado de: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1612080
- Tsutsumi, E., 2004. A Mental Cutting Test Using Drawings of Intersections. , 8(1), pp.117–126.
- Tsutsumi, E.; Ishikawa, W.; Sakuta, H.; Suzuki, K. y otros, 2008. Analysis of Causes of Errors in the Mental Cutting Test – Effects of View Rotation. Recuperado de: <http://www.heldermann-verlag.de/jgg/jgg12/j12h1tsut.pdf>.
- Tsutsumi, E.; Schrocker, H; Stachel, H; Weiss, G y otros, 2005. Evaluation of Students ' Spatial

- Abilities in Austria and Germany. *Journal for Geometry and Graphics*, 9(1), pp.107–117.
- Tsutsumi, E., Shiina, K. y Suzaki, A., 1999. A Mental Cutting Test on Female Students Using a Stereographic System. , 3(1), pp.111–119.
- Turgut, M., 2014. Development of the spatial ability self-report scale (SASRS): reliability and validity studies. *Quality & Quantity*. Recuperado de: <http://link.springer.com/10.1007/s11135-014-0086-8>.
- Uttal, D.H.; Meadow, N.G.; Tipton, E.; Hand, L.L.; Alden, A. R.; Warren, C.; Newcombe, N.S y otros, 2013. The malleability of spatial skills: a meta-analysis of training studies. *Psychological bulletin*, 139(2), pp.352–402. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22663761>.
- Uttal, D.H., Miller, D.I. y Newcombe, N.S., 2013. Exploring and Enhancing Spatial Thinking: Links to Achievement in Science, Technology, Engineering, and Mathematics? *Current Directions in Psychological Science*, 22(5), pp.367–373. Recuperado de: <http://cdp.sagepub.com/content/22/5/367>.
- Vandenberg, S.G. y Kuse, A.R., 1978. Mental Rotations : a Group Test of Three-Dimensional Spatial Visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47, pp.599–604. Recuperado de <http://ci.nii.ac.jp/naid/10004192955/en/>.
- Veurink, N.L.; Hamlin, A J; Kampe, J C M; Sorby, S A; Blasko, D G; Holliday-Darr, K A; Trich Kremer, J D; Abe Harris, L V; Connolly, P E; Sadowski, M A y otros, 2009. Enhancing Visualization Skills-Improving Options aNd Success (EnViSIONS) of Engineering and Technology Students. *Engineering Design Graphics Journal*, 73(2).
- Violante, M.G. y Vezzetti, E., 2014. Design of web-based interactive 3D concept maps: A preliminary study for an engineering drawing course. *Computer Applications in Engineering Education*, p.n/a–n/a. Recuperado de: <http://doi.wiley.com/10.1002/cae.21610>
- Voyer, D., 2011. Time limits and gender differences on paper-and-pencil tests of mental rotation: a meta-analysis. *Psychonomic bulletin & review*, 18(2), pp.267–277.
- Voyer, D., Rodgers, M. a y McCormick, P. a, 2004. Timing conditions and the magnitude of gender differences on the Mental Rotations Test. *Memory & cognition*, 32(1), pp.72–82.
- Voyer, D., Voyer, S. y Bryden, M.P., 1995. Magnitude of sex differences in spatial abilities: a meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological bulletin*, 117(2), pp.250–70. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7724690>
- Wai, J., Lubinski, D. y Benbow, C.P., 2009. Spatial ability for STEM domains: Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *Journal of educational psychology*, 101(4), p.817.
- Wanzel, K.R.; Hamstra, S.J.; Anastakis, D.J.; Matsumoto, E.D.; Cusimano, M.D y otros, 2002. Effect of visual-spatial ability on learning of spatially-complex surgical skills. *Lancet*, 359(9302), pp.230–1. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11812562>.
- Wraga, M.; Helt, M.; Jacobs, E.; Sullivan, K. y otros, 2007. Neural basis of stereotype-induced shifts in women's mental rotation performance. *Social cognitive and affective*

- neuroscience*, 2(1), pp.12–9. Recuperado de: [/pmc/articles/PMC2555429/?report=abstract](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2555429/).
- Wright, R.; Thompson, W.L.; Ganis, G.; Newcombe, N.S.; Kosslyn, S.M y otros, 2008. Training generalized spatial skills. *Psychonomic bulletin & review*, 15(4), pp.763–771.
- Yoon, S.Y., 2011. Revised Purdue Spatial Visualization Test: Visualization of Rotations (Revised PSVT:R) [Psychometric Instrument].
- Zhang, H. y Salvendy, G., 2001. The implications of visualization ability and structure preview design for web information search tasks. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 13(1), pp.75 – 95.

Instrucciones de los Tests

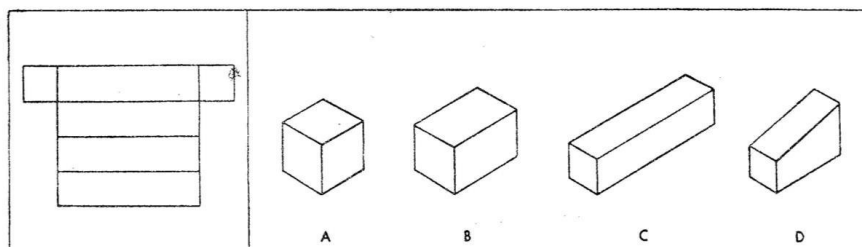
INSTRUCCIONES DAT-SR

Este test consta de 60 problemas. En cada uno se presenta un modelo o patrón que es el desarrollo en superficie de una figura de tres dimensiones. A continuación aparecen 4 figuras. Una de ellas se ha formado doblando el modelo. Su tarea consiste en averiguar cuál es esta figura.

El modelo siempre representa la parte exterior de la figura.

He aquí un ejemplo:

Ejemplo X:



¿Cuál de estas figuras, A, B, C o D, puede construirse a partir del modelo X? Evidentemente sólo la C, porque las otras son de forma y tamaño diferentes. Compruébelo.

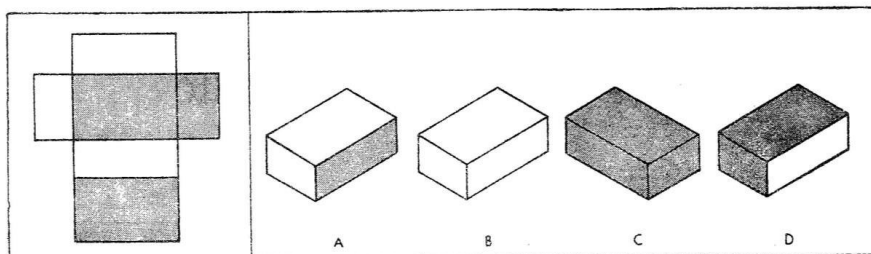
Por eso, en la reproducción de la Hoja de Respuestas que aparece en la página siguiente, se ha marcado la letra C en la fila correspondiente al ejemplo X.

En cada problema hay siempre cuatro figuras a continuación del modelo. De ellas, sólo una está correctamente construida a partir de él.

Fíjese ahora en el ejemplo Y.

El modelo puede doblarse formando una caja. Las dos caras mayores y una de las pequeñas deberán ser oscuras. La figura que resulta ha de tener estas tres caras oscuras aunque alguna no aparezca a la vista debido a la colocación de la caja.

Ejemplo Y:



Observe: Las cuatro figuras son correctas en cuanto a la forma; pero las caras que se ven son diferentes. Sólo una de estas figuras puede construirse a partir del modelo. Fíjese en las cuatro posibilidades de elección:

- La figura A está mal; tiene un lateral oscuro y la superficie superior blanca; en el modelo los dos laterales son blancos y las dos superficies mayores oscuras.
- La figura B es igualmente incorrecta porque la superficie superior debería ser oscura.
- La figura C es igualmente incorrecta porque tiene oscuro uno de los laterales a diferencia del modelo.
- La figura D está bien: todas las caras que aparecen a la vista concuerdan con las del modelo.

Recuerde que la superficie que Vd. ve en el modelo representa siempre la parte exterior de la figura.

Al realizar su ejercicio:

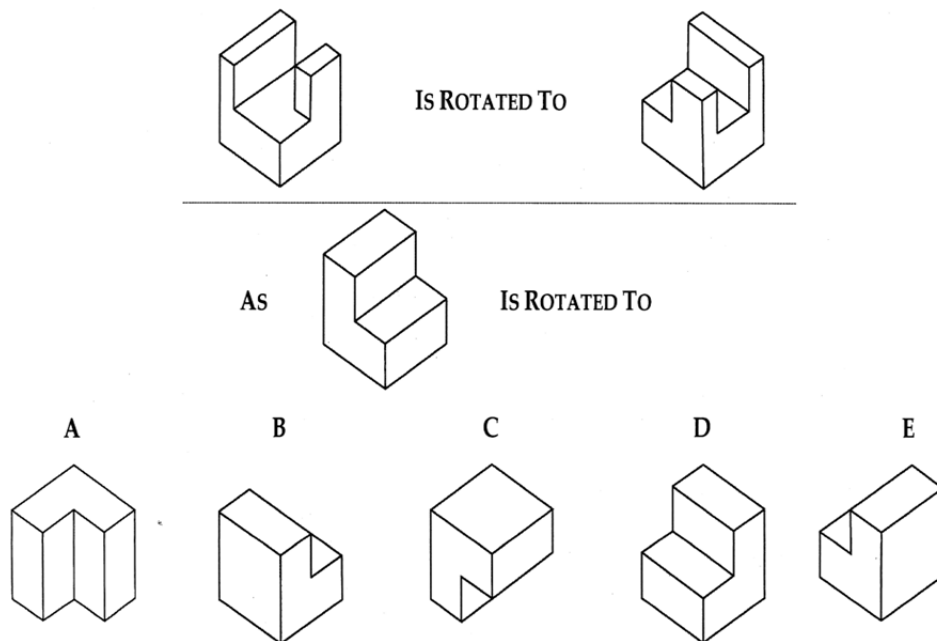
- Estudie el modelo.
- Elija la figura que puede construirse a partir de él.
- Dé su contestación marcando, en la Hoja de Respuestas, la letra que coincida con la que está debajo de la figura elegida.

Dispone de 25 minutos.

Trabaje lo más rápida y exactamente que pueda. Si no está seguro de una contestación, marque la que crea mejor.

INSTRUCCIONES PSVT:R

This test consists of 30 questions designed to see how well you can visualize the rotation of three-dimensional objects. Shown below is an example of the type of question included in the second section.



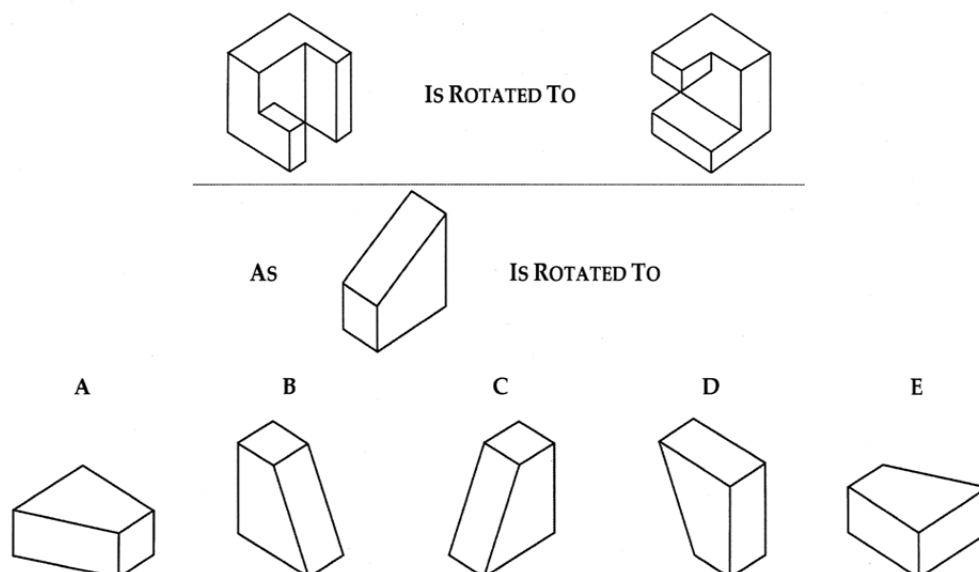
You are to:

1. study how the object in the top line of the question is rotated;
2. picture in your mind what the object shown in the middle line or the question looks like when rotated in exactly the same manner;
3. select from among the five drawings (A, B, C, D, or E) given in the bottom line of the question the one that looks like the object rotated in the correct position.

What is the correct answer to the example shown above?

Answers A, B, C, and E are wrong. Only drawing D looks like the object rotated according to the given rotation. Remember that each question has only one correct answer.

Now look at the next example shown below and try to select the drawing that looks like the object in the correct position when the given rotation is applied.

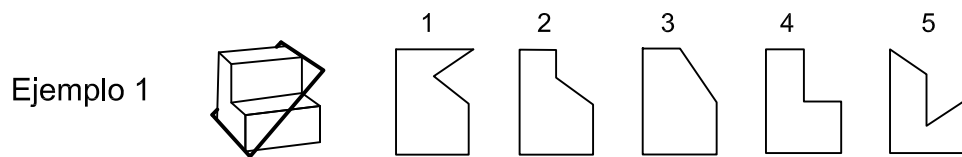


Notice that the given rotation in this example is more complex. The correct answer for this example is B.

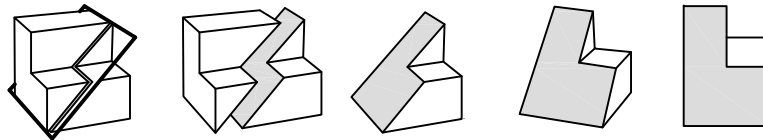
Mental Cutting Test

Tiempo - 20 minutos

En esta prueba cada ejercicio consiste en una figura cortada por un plano (delimitado con línea más gruesa). La respuesta es la sección que produce el plano al cortar la figura. Mira el ejemplo 1 y piensa cuál será la respuesta correcta.

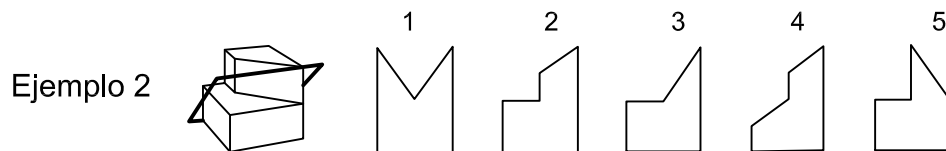


La respuesta nº 4 será la correcta para el ejercicio del ejemplo 1

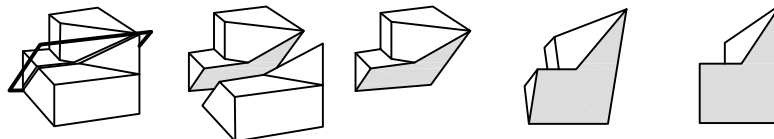


En estas imágenes se ve como el plano de corte divide la figura en dos partes y la parte delantera se elimina. A continuación, el lado del corte se coloca frontalmente. La respuesta es la parte cortada que aparece sombreada en la última imagen.

Ahora intenta el ejercicio del ejemplo 2



Estas imágenes muestran que la respuesta nº 3 es la correcta para el ejemplo 2



CUESTIONARIOS ENTREVISTAS

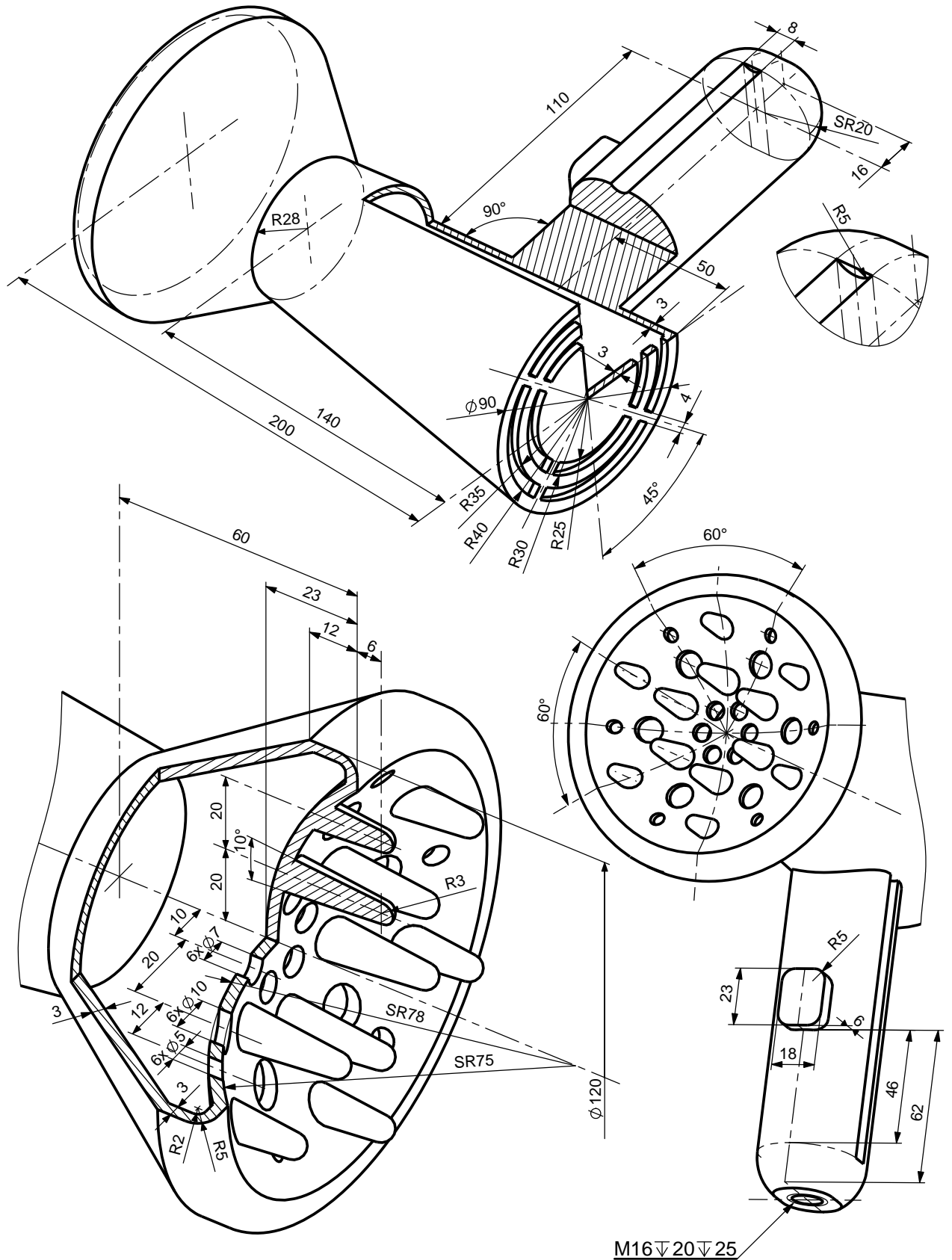
DAT-SR						
<i>Estrategia</i>	Doblo el desarrollo del modelo y veo cómo queda la figura					
	Empiezo desde las soluciones: despliego la figura y veo cómo queda el desarrollo					
	Comparo toda la figura del modelo con las soluciones					
	Comparo dos caras contiguas o más en el modelo con las soluciones					
	Me fijo en alguna cara singular del modelo y la busco en las soluciones. Si hay más de una, miro otras caras					
	Dependiendo de la figura cambio de estrategia					
	Otros:					
<i>Verbal</i>	Pienso verbalmente mientras lo hago					
	Me baso en la visualización y no hablo conmigo					
	No lo sé					
<i>Elección opción</i>	Busco la solución pensada entre las opciones					
	Comparo las opciones para ver cuál es más probable y elijo					
	Hago un poco de las dos anteriores.					
	Paso por las opciones por orden: La primera, la segunda					
	Paso por las opciones sin orden					
	Depende de la dificultad. Si es más difícil, voy por orden.					
	Reviso todas las opciones					
	Cuando encuentro la correcta, no miro las demás					
<i>Tiempo</i>	Depende. Justificar					
	Me he preocupado más de elegir las respuestas correctas que del tiempo límite					
	Me he preocupado más de contestar todas las respuestas que de acertarlas todas					
Mitad y mitad. Me he preocupado de las dos cosas						
<i>Gestos</i>	Hago gestos?		No	Si	De qué tipo?	
<i>Stress</i>	Te produce stress?		No		Un poco	Bastante
<i>Problemas</i>	Mucho					
	Me cuesta ver (montar mentalmente) la figura a partir del desarrollo del modelo					
	Me cuesta rotar mentalmente la figura cuando ya la he visualizado					
	Otros:					
Ninguno						

PSVT:R					
Estrategia	Giro toda la figura en mi mente				
	Giro una parte de la figura en mi mente				
	No sé cómo lo hago				
	Otros:				
	Comparo toda la figura del modelo con las soluciones				
	Comparo una parte de la figura del modelo con las soluciones				
	Dependiendo de la figura cambio de estrategia				
	Otros:				
Verbal	Pienso los pasos verbalmente en mi mente (Ej: giro hacia la izda...)				
	Me baso en la visualización y no hablo conmigo				
	No lo sé				
Elección opción	Busco la solución pensada entre las opciones				
	Comparo las opciones para ver cuál es más probable y elijo				
	Hago un poco de las dos anteriores.				
	Paso por las opciones por orden: La primera, la segunda				
	Paso por las opciones sin orden				
	Depende de la dificultad. Si es más difícil, voy por orden.				
	Reviso todas las opciones				
	Cuando encuentro la correcta, no miro las demás				
Tiempo	Depende. Justificar				
	Me he preocupado más de elegir las respuestas correctas que del tiempo límite				
	Me he preocupado más de contestar todas las respuestas que de acertarlas todas				
Mitad y mitad. Me he preocupado de las dos cosas					
Gestos	Hago gestos?	No	Si	De qué tipo?	
Stress	Te produce stress?	No	Un poco	Bastante	Mucho
Problemas	Me cuesta entender las figuras de la solución en algunas perspectivas				
	Me cuesta ver los giros que se han aplicado en el modelo				
	Me cuesta retener en memoria los giros aplicados para poder compararlos con la figura objetivo				
	Me cuesta aplicar los giros a la figura objetivo				
	Otros:				

MCT						
<i>Estrategia</i>	Me imagino el corte directamente					
	Dibujo en mi mente las aristas que produce el plano sección					
	Otros:					
	Hago una rotación mental de la sección para verla en magnitud real					
	No hago la rotación mental. Ya me la imagino en magnitud real					
	Comparo toda la figura del modelo con las soluciones					
	Comparo una parte de la figura del modelo con las soluciones					
	Dependiendo de la figura cambio de estrategia					
	Otros:					
<i>Verbal</i>	Pienso los pasos verbalmente en mi mente					
	Me baso en la visualización y no hablo conmigo					
	No lo sé					
<i>Elección opción</i>	Busco la solución pensada entre las opciones					
	Comparo las opciones para ver cuál es más probable y elijo					
	Hago un poco de las dos anteriores					
	Si hay varias opciones con la misma forma, analizo las dimensiones para ver cuál es					
	No me fijo en las dimensiones. Sólo en la forma					
	Otros:					
	Paso por las opciones por orden: La primera, la segunda					
	Paso por las opciones sin orden					
	Depende de la dificultad. Si es más difícil, voy por orden.					
	Reviso todas las opciones					
	Cuando encuentro la correcta, no miro las demás					
Depende. Justificar						
<i>Tiempo</i>	Me he preocupado más de elegir las respuestas correctas que del tiempo límite					
	Me he preocupado más de contestar todas las respuestas que de acertarlas todas					
	Mitad y mitad. Me he preocupado de las dos cosas					
<i>Gestos</i>	Hago gestos?	No	Si	De qué tipo?		
<i>Stress</i>	Te produce stress?	No	Un poco		Bastante	Mucho
<i>Problemas</i>	Me cuesta entender la figura por la perspectiva					
	Me cuesta entender la figura porque no sé interpretar los elementos ocultos					
	Me cuesta ver por dónde pasa el plano sección					
	Me cuesta rotar mentalmente la sección para verla en verdadera magnitud					
	Otros:					

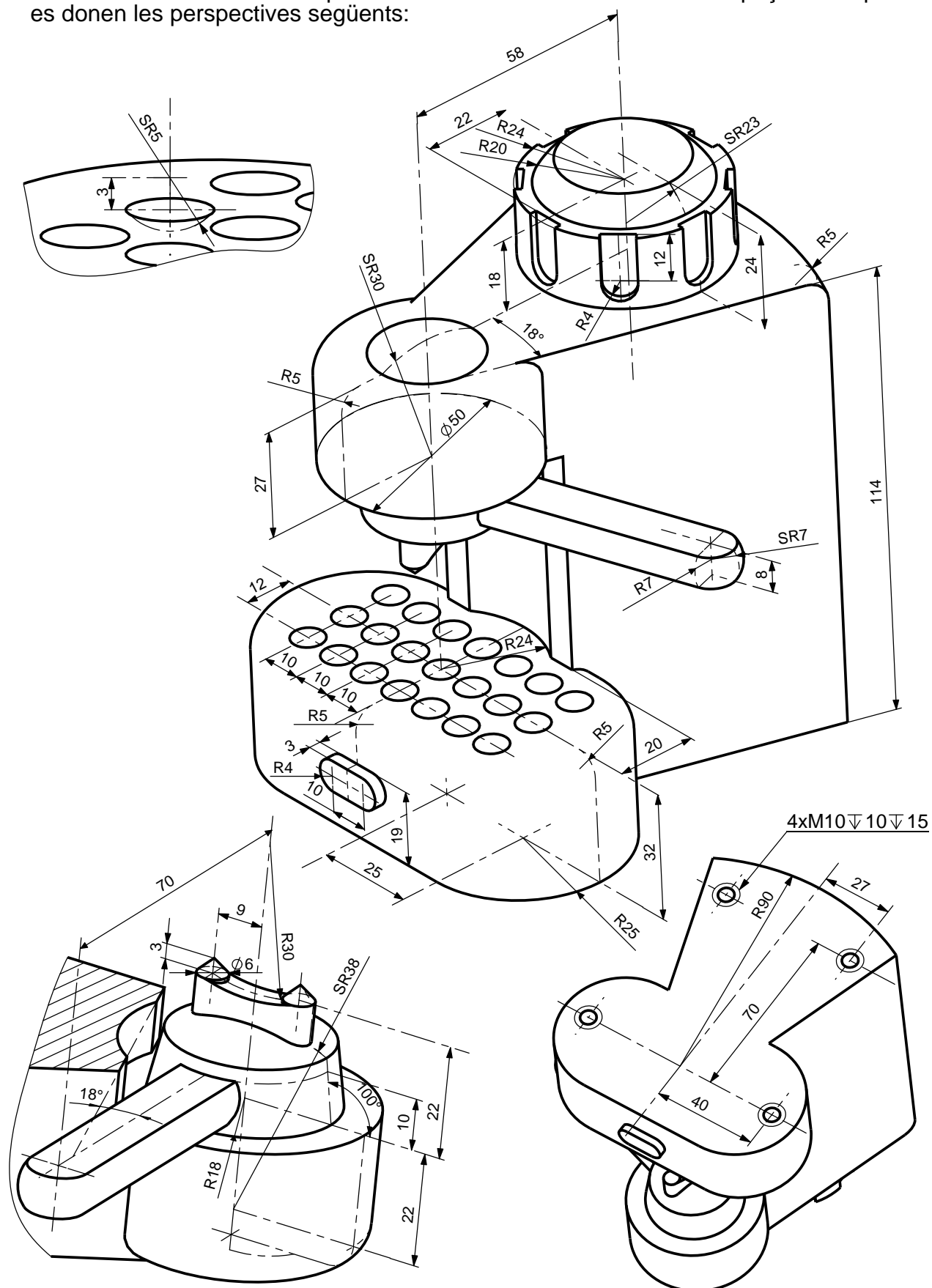
GENERAL	
<i>Autoinforme general</i>	En general, crees que tienes una capacidad de visión espacial
	Muy mala
	Mala
	Normal
	Buena
	Muy buena
<i>Autoinforme mejoría</i>	Crees que has mejorado tu capacidad espacial durante el curso
	No
	Poco
	Bastante
	Mucho
<i>Qué parte de la asignatura crees que te ha ayudado más para desarrollar tus habilidades espaciales</i>	Modelado
	Planos
	Modelado+ planos
	Poliedros
	Superficies
	Poliedros y superficies
	No lo sé
	Observaciones:
<i>Qué parte de la asignatura te ha gustado más o te ha parecido más interesante</i>	Modelado
	Planos
	Modelado+ planos
	Poliedros
	Superficies
	Poliedros y superficies
	No lo sé
	Observaciones:
<i>Test</i>	Qué test te ha resultado más difícil (1= más difícil, 3=más fácil)
	DAT
	PSVT:R
	MCT
	Observaciones:
<i>Tienes problemas de memoria en general</i>	No
	Un poco
	Bastante
	Mucho

Modelar en 3D i obtenir la representació dièdrica normalitzada de la peça de la qual es donen les perspectives següents:



Expressió Gràfica a l'Enginyeria	Cognoms	Grup	Professor	Escala
	Nom	Exercici		NOTA
		A187 P1 C 2014 15 QP		

Modelar en 3D i obtenir la representació dièdrica normalitzada de la peça de la qual es donen les perspectives següents:



Expressió Gràfica a l'Enginyeria

Cognoms

Grup

Professor

Escala

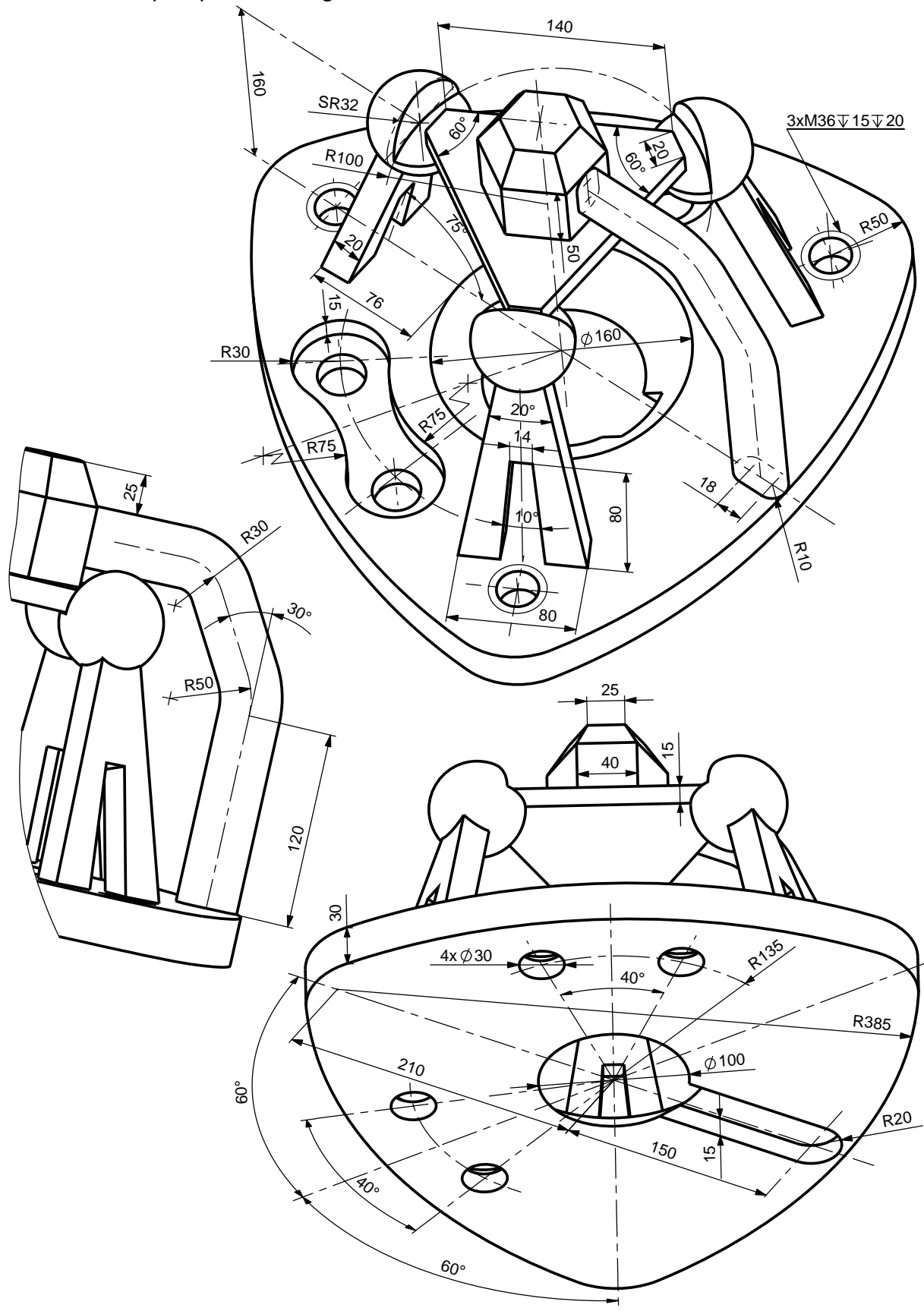
Nom

Exercici

NOTA

A188
P1 B 2014 15 QP

Modelar en 3D i obtenir la representació dièdrica normalitzada de la peça de la qual es donen les perspectives següents:

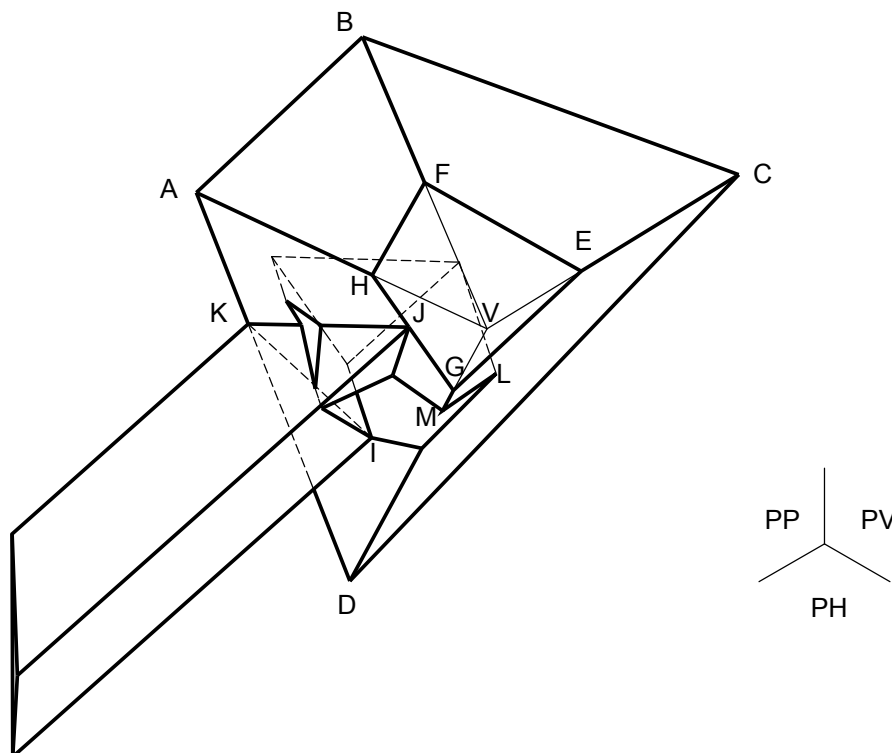


Expressió Gràfica a l'Enginyeria	Cognoms	Grup	Professor	Escala
	Nom	Exercici		NOTA
		A190 P1 A 2014 15 QP		

Representeu en 3D el conjunt de poliedres de la isometria format per:

- Tronc de piràmide de base quadrilàtera ABCD, que forma 75° amb PH i 50° amb PV. El vèrtex A és l'origen. L'aresta AD té el doble de pendent que AB. L'angle ABC és el doble de l'angle ADC. Les arestes BC i CD són perpendiculars entre sí. Una diagonal del quadrilàter és horitzontal i l'altra és recta de màxim pendent del pla. El vèrtex B és 120 més alt que A. La cara BCEF és un pla de caire. CDEG forma el mateix angle amb BCEF i ADGH. La projecció ortogonal del vèrtex V de la piràmide sobre ABCD dista 144 de C. La cara EFGH forma 40° amb l'aresta AH i dista 76 d'A. EF i EG són iguals. (4 punts)
- Prisma que té una base triangular isòsceles en la cara ADGH. El vèrtex K és a AD. J és a GH i equidista de les arestes AH i DG. L'aresta IJ té el mateix pendent que la cara CDEG. V és a la prolongació de l'aresta JK. La secció recta del prisma és un triangle equilàter. El prisma es limita per un pla perpendicular a la cara EFGH de màxim pendent possible. L'aresta lateral en K mesura 200. (3 punts)
- Prisma que forada la peça. Les arestes laterals formen el mateix angle amb l'aresta GH i amb la cara EFGH. Una aresta lateral passa pel vèrtex I. La secció produïda en la cara ABCD és un triangle equilàter de costat 100. L dista 48 d'EG. LM és perpendicular a DG. (3 punts)

Cada errada descompta un punt de l'apartat corresponent.

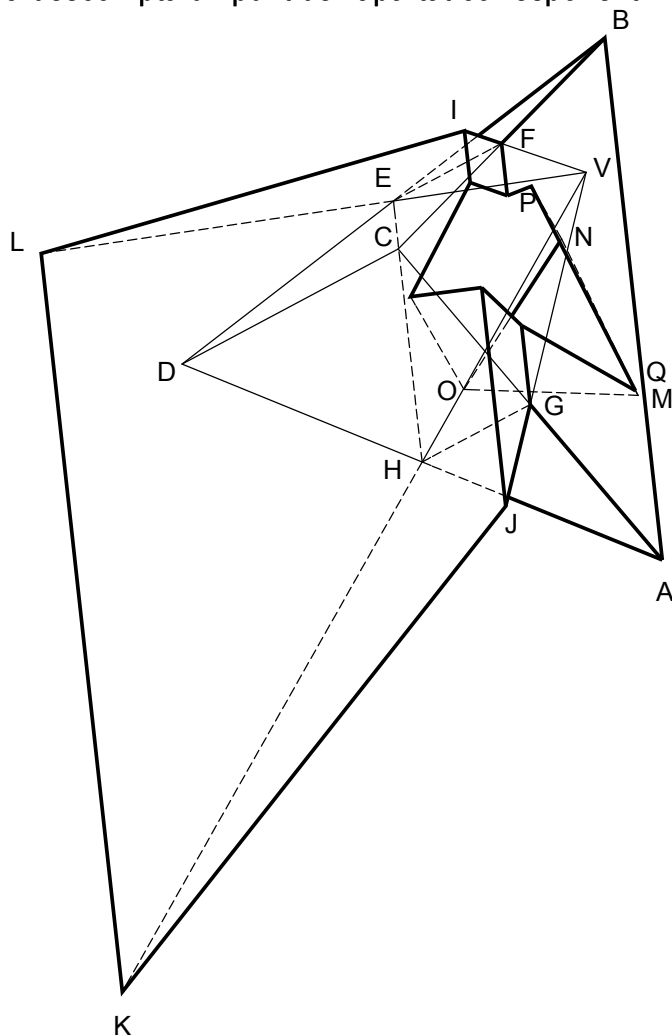


Expressió Gràfica a l'Enginyeria	Cognoms	Grup	Professor	Escala
	Nom	Exercici		NOTA
		C171 P2C 2014 15 QP		

Representeu en 3D el conjunt de poliedres de la isometria format per:

- Mig tetraedre regular ABEFGH. El vèrtex A és l'origen. La cara ABC té el doble de pendent que la cara BCD. Les arestes oposades AB i CD disten 150. L'angle que forma l'aresta AC amb PH és el doble del que forma amb PV. Les cares ABC i ACD formen el mateix angle amb PH. EFGH és un quadrat. (4 punts)
- Tronc de piràmide. L'aresta IF forma 150° amb l'aresta BF del tetraedre i té el màxim pendent possible. La cara EHKL té el mínim pendent possible. La base IJKL és paral·lela a l'aresta AB i perpendicular a PP. La distància del vèrtex A al pla de la base IJKL és el doble de GJ. (3 punts)
- Prisma de secció recta triangular equilàtera que forada la peça. El seu eix passa pel punt mig de FG i equidista de les arestes FI, AG i AB. L'angle que forma l'aresta EH amb MO és el doble del que forma amb NO. PQ mesura 100. (3 punts)

Cada errada descompta un punt de l'apartat corresponent.

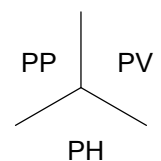
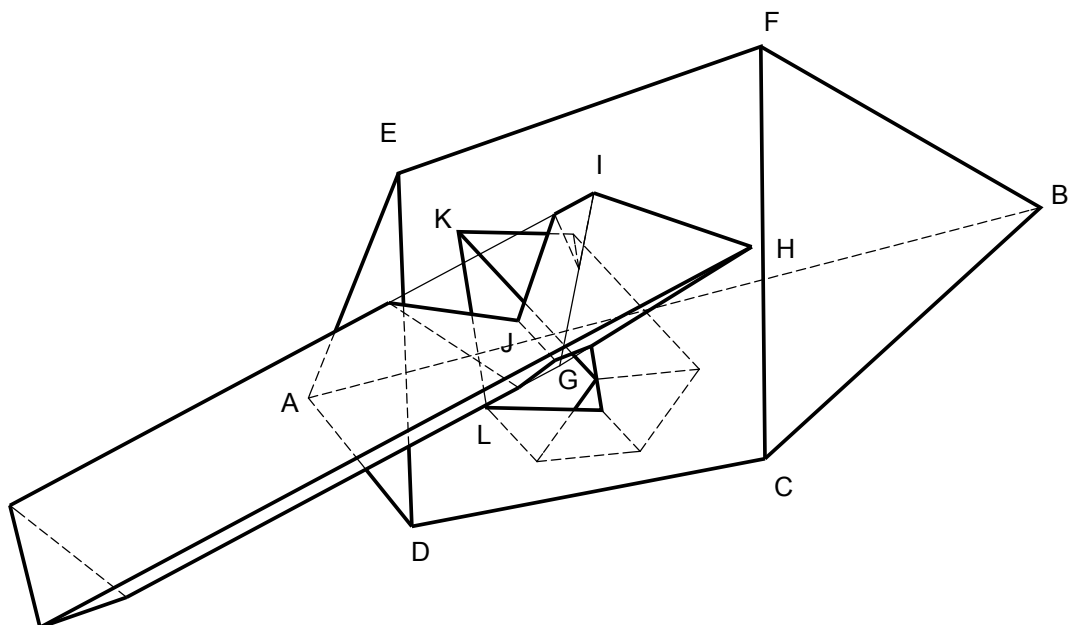


Expressió Gràfica a l'Enginyeria	Cognoms	Grup	Professor	Escala
	Nom	Exercici		NOTA
		C 172 P2A 2014 15 QP		

Representeu en 3D el conjunt de poliedres de la isometria format per:

- Poliedre ABCDEF tal que A és l'origen. AB forma 50° amb PP, 25° amb PH i és recta de màxim pendent de la cara ABCD. L'angle BAD és igual que l'angle ABC i la meitat de l'angle BCD. CD té el doble de pendent que AD. AB mesura el doble de CD. El vèrtex B dista 100 de l'aresta CD. BCF és un triangle equilàter. La cara ABCD forma el mateix angle amb les cares ABEF, CDEF i ADE. (4 punts)
- Prisma de secció recta triangular equilàtera. GHI és un triangle rectangle isòsceles situat en la cara CDEF tal que GI és recta de màxim pendent d'aquesta cara. El vèrtex I dista 22 d'EF. Les distàncies de GH a CB, de IH a FB i de IG a AE són iguals. El prisma es limita per un pla que forma el mateix angle amb la cara ADE i amb les arestes laterals del prisma, passa per A i és perpendicular a CDEF. (3 punts)
- Prisma de secció recta quadrada que forada la peça. Les seves arestes laterals formen 75° amb les arestes laterals del prisma anterior i tenen el màxim pendent possible. Les quatre cares laterals tenen el mateix pendent. L'eix del prisma talla una aresta del prisma anterior. El vèrtex J equidista de HI i de I. L'aresta KL mesura la meitat de DE. (3 punts)

Cada errada descompta un punt de l'apartat corresponent.



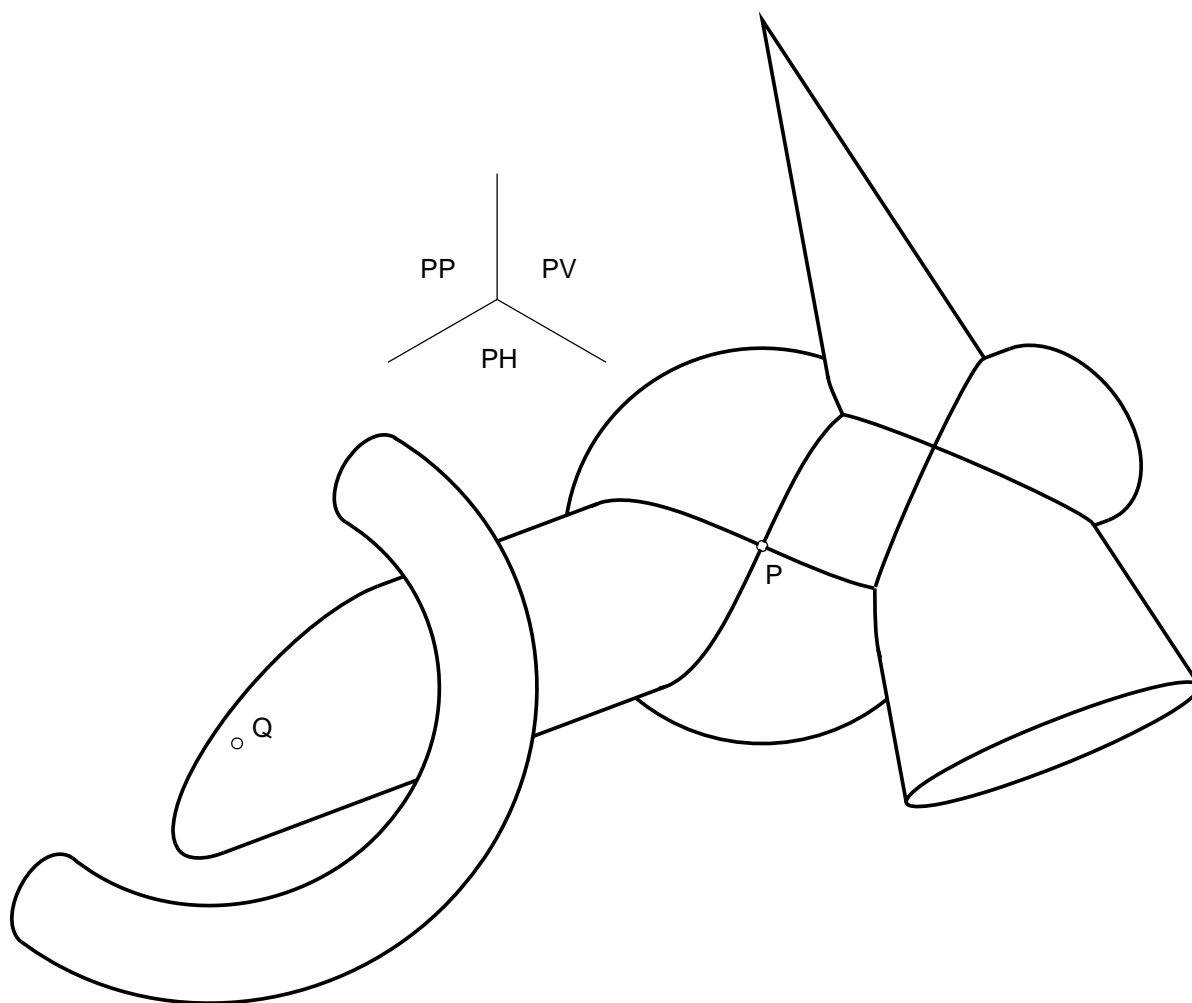
Expressió Gràfica a l'Enginyeria	Cognoms	Grup	Professor	Escala
	Nom	Exercici		NOTA
		C 173 P2B 2014 15 QP		

Representeu en 3D el conjunt de les superfícies de la isometria format per:

- Una esfera tangent a PH, PV, PP i tangent en un punt P a un pla α que forma angles iguals amb PH, PV i PP i que dista 100 de l'origen. (2 punt)
- Un cilindre de revolució tangent al pla α i a l'esfera en el mateix punt P, limitat per PV i PP. El seu eix té un pendent del 30% i una longitud de 150. (2 punts)
- Un con de revolució bitangent al cilindre i tangent a PV. La longitud de l'eix del con és 5 vegades el radi de la base del con. La base circular del con és tangent a PH i el seu vèrtex és en PP. (3 punts)
- Un tor generat per una circumferència de diàmetre igual al radi del cilindre. El tor és tangent a PH i té una sola circumferència de contacte amb un pla β tangent al cilindre i al con. L'eix circular del tor té diàmetre 100 i el seu eix rectilini talla l'eix del cilindre en un punt Q. El tor queda limitat per PP. (3 punts)

Només es valoraran les superfícies acabades.

Cada errada descompta un punt de l'apartat corresponent.



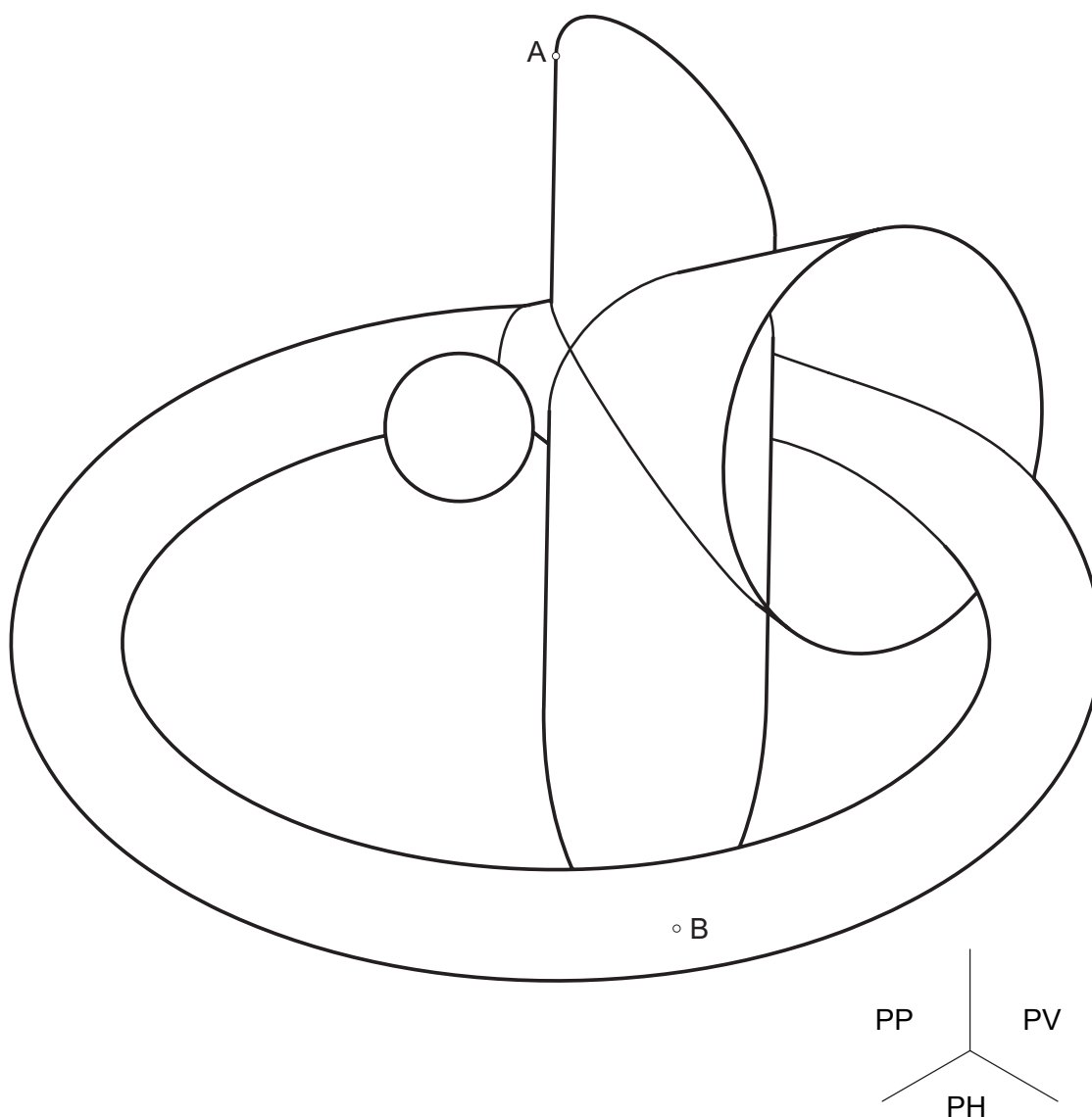
Expressió Gràfica a l'Enginyeria	Cognoms	Grup	Professor	Escala
	Nom	Exercici		NOTA
		P3A 2014 - 15 QP		

Representeu en 3D el conjunt de superfícies de la isometria format per:

- Con de revolució tangent al PH al llarg d'una generatriu frontal, vèrtex en el PP i base amb un sol punt de contacte amb el PV. El seu desenrotllament és un sector circular de radi 200 i 105° . (2 punts)
- Cilindre de revolució de radi 30, bitangent al con, limitat pel PV i el PH. El cilindre té un sol punt A al PP i el punt B més allunyat del PP dista 250 del PP. (4 punts)
- Tor d'eix vertical tangent a PH, PV i PP i bitangent al con, generat per una circumferència de radi 15. (2 punts)
- Esfera de radi 20 tangent al PH, al con i al tor. (2 punts)

Només es valoraran les superfícies acabades.

Cada errada descompta un punt de l'apartat corresponent.



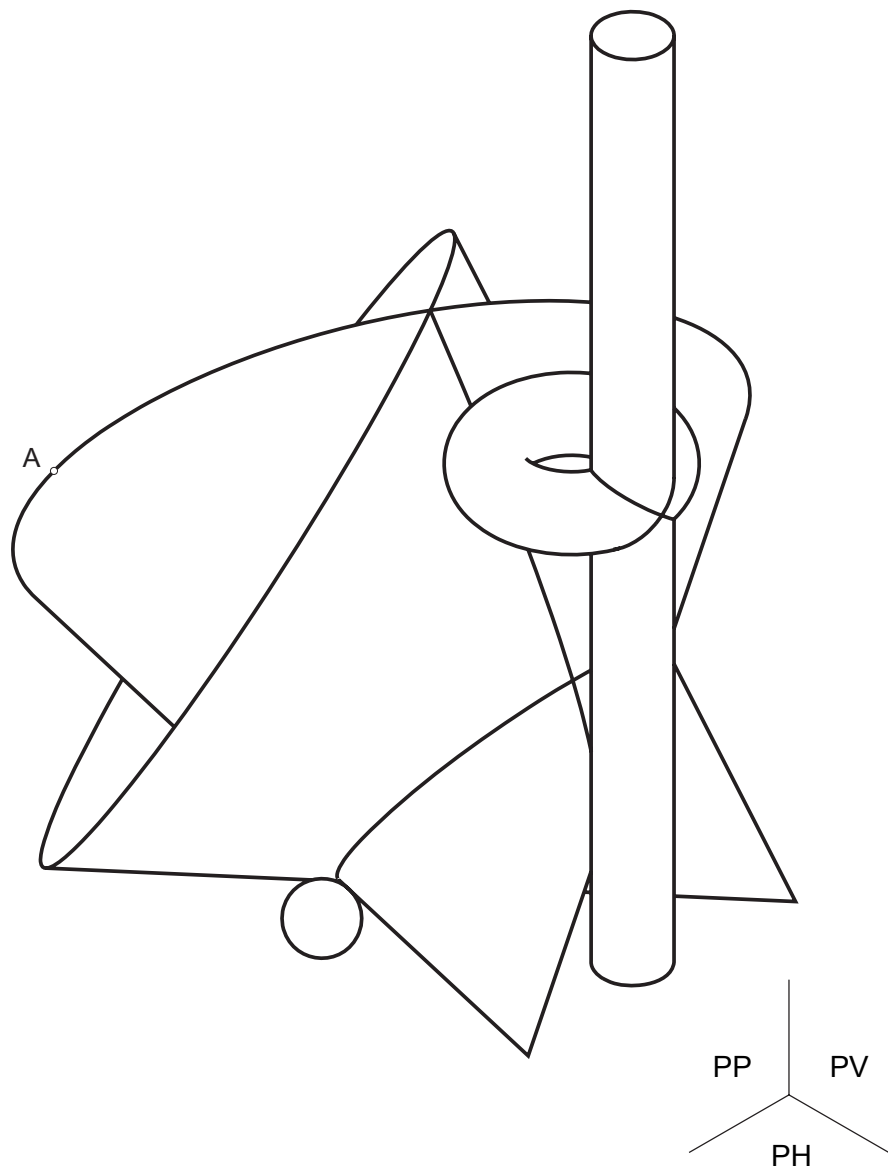
Expressió Gràfica a l'Enginyeria	Cognoms	Grup	Professor	Escala
	Nom	Exercici		NOTA
		P3B 2014 - 15 QP		

Representeu en 3D el conjunt de les superfícies de la isometria format per:

- Dos cons de revolució iguals, tangents a PH i bitangents entre sí. Els seus vèrtexs son al PP i una de les seves bases és tangent a PV en el punt A. Les seves generatrius més baixes es tallen en el seu punt mig formant 60° . El seu desenrotllament és una semicircumferència de radi 200. (4 punts)
- Cilindre de revolució d'eix vertical de longitud 300, recolzat en PH i tangent a PP i als dos cons. (1 punt)
- Esfera tangent a PH, PV i als dos cons. (2 punts)
- Tor d'eix vertical, bitangent al cilindre i tangent als dos cons. El centre del tor equidista de les bases del cilindre. (3 punts)

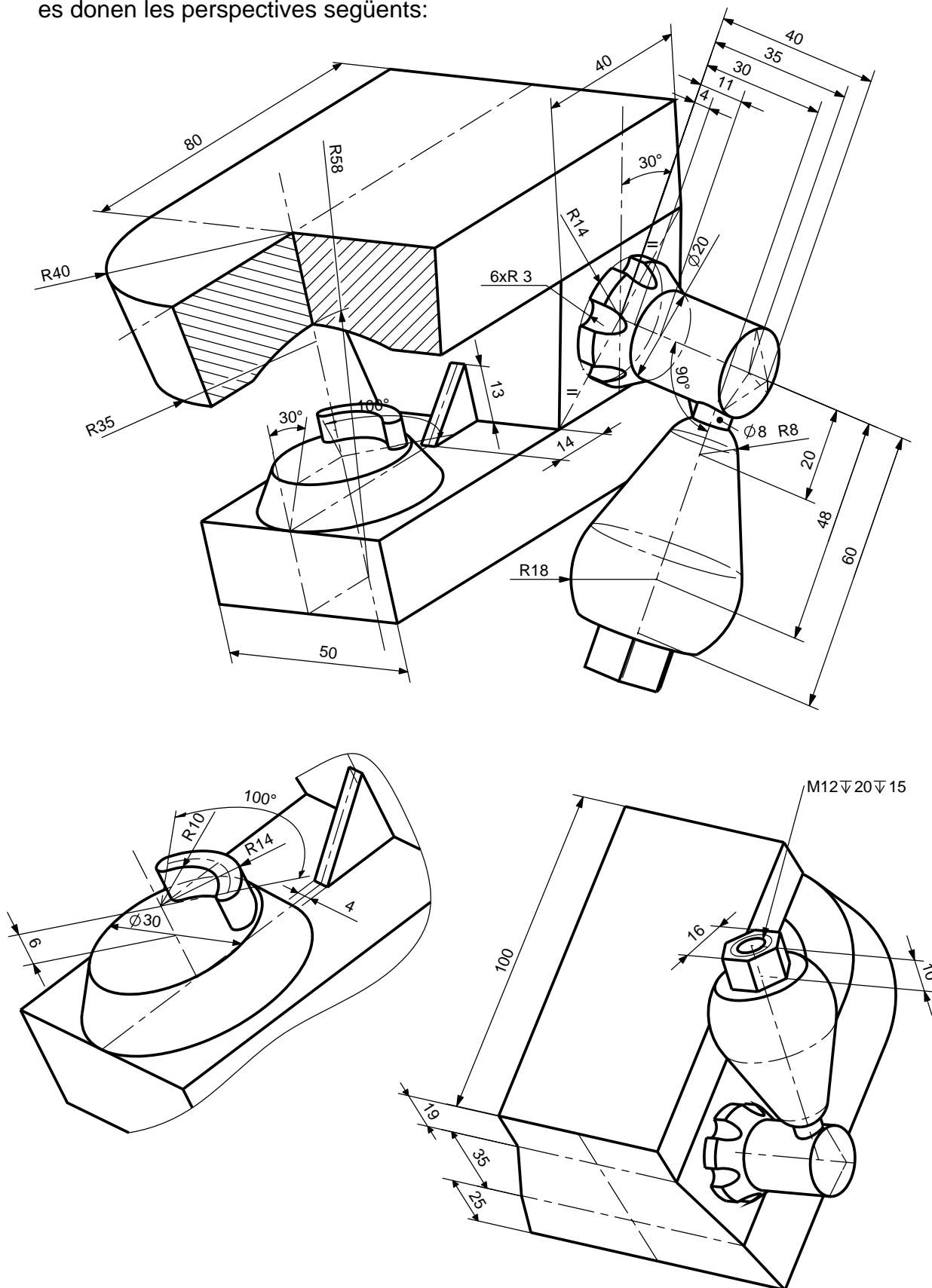
Només es valoraran les superfícies acabades.

Cada errada descompta un punt de l'apartat corresponent.



Expressió Gràfica a l'Enginyeria	Cognoms	Grup	Professor	Escala
	Nom	Exercici		NOTA
		P3C 2014 - 15 QP		

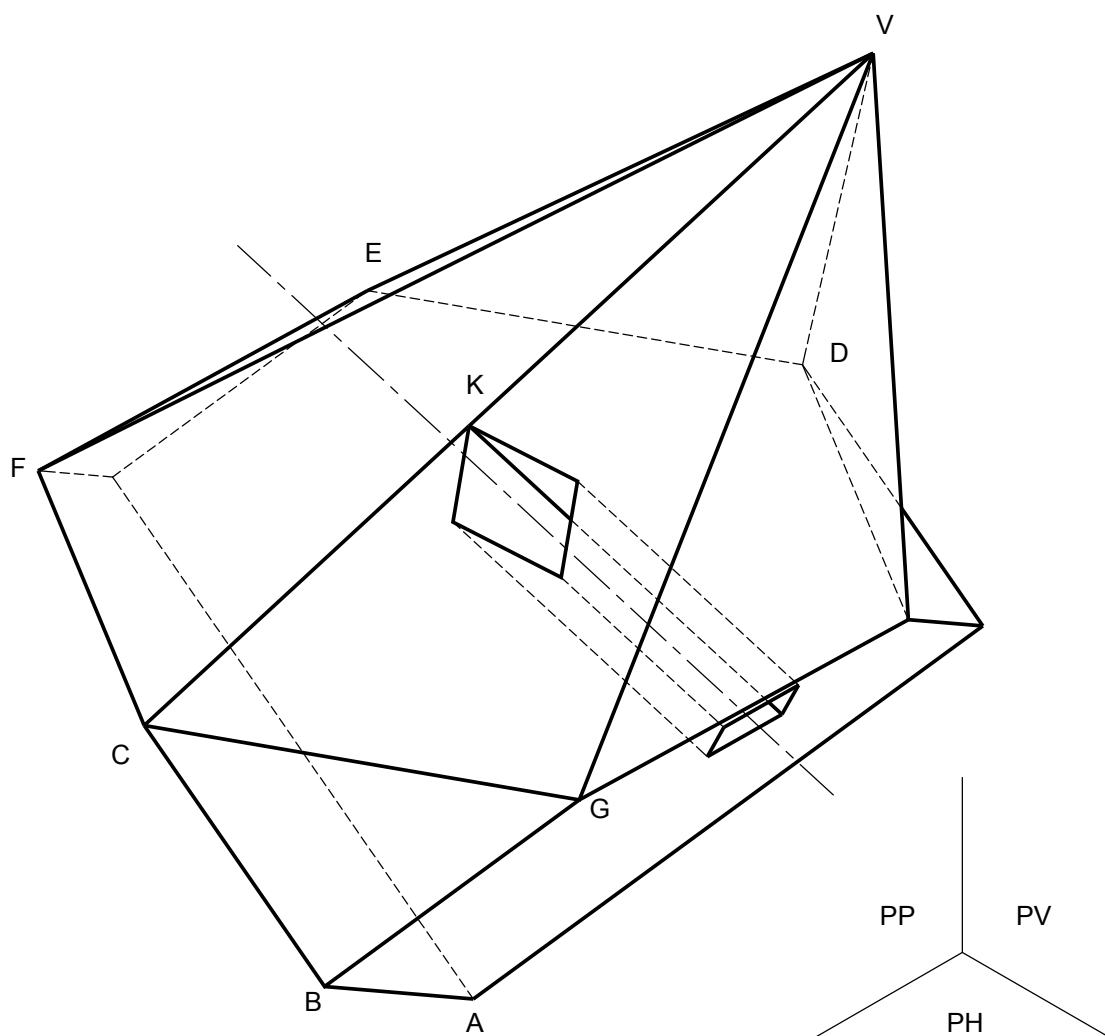
Modelar en 3D i obtenir la representació dièdrica normalitzada de la peça de la qual es donen les perspectives següents:



Expressió Gràfica a l'Enginyeria	Cognoms	Grup	Professor	Escala
	Nom	Exercici		NOTA
		<p>A189</p> <p>FP1 2014 15 QP 30%</p>		

Representeu en 3D el conjunt de poliedres de la isometria format per:

- $\frac{1}{2}$ cub de vèrtex A en l'origen tal que totes les seves cares tenen igual pendent (1p). L'angle que forma l'aresta AB amb PV és el doble del que forma amb PP (2p). El cub està limitat per un hexàgon regular de costat 60 (1p).
- Una piràmide, que té per base la secció hexagonal del cub, tal que l'aresta VD mesura $\frac{2}{3}$ de l'aresta VC (1p). La cara VDE té el triple de pendent que la cara VCF (1p) i el doble que la cara VCG (1p).
- Als poliedres anteriors se'ls hi practica una entalladura amb un prisma de secció recta quadrada tal que el seu eix equidista dels punts V i A, dista 30 de la recta VA, forma 60° amb VA i té el màxim pendent possible. Les quatre cares de la entalladura tenen igual pendent i dues d'elles intersequen en un punt K de l'aresta VC. (3 punts, cada errada en resta 1)

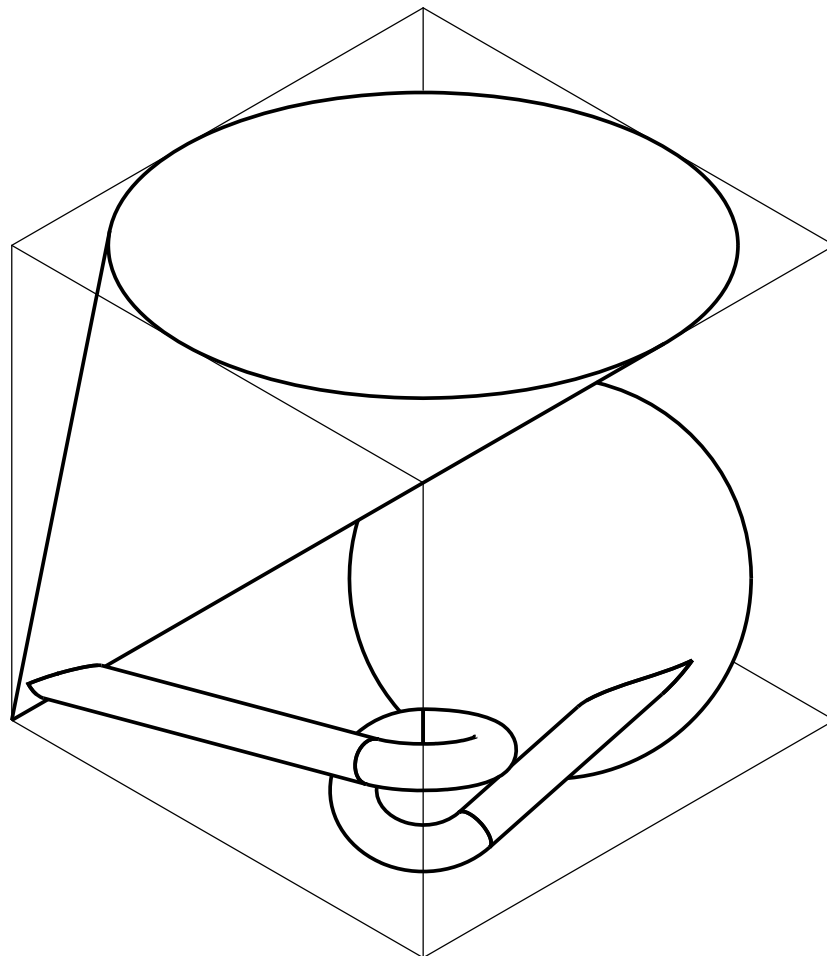


Expressió Gràfica a l'Enginyeria	Cognoms	Grup	Professor	Escala
	Nom	Exercici		NOTA
		C175 FP2 2014-15 QP 35%		

En un recinte cúbic de costat 10.000 es vol construir una instal·lació com la de la isometria. Representeu en 3D el conjunt de les següents superfícies, construïdes en planxa de gruix menyspreable:

- Un col·lector format per un con de revolució que té el seu vèrtex en un vèrtex del terra, limitat per una base el·líptica al sostre tangent a les quatre parets. (3 punts)
- Un dipòsit esfèric de radi r , tangent al con i a les dues parets oposades al vèrtex del con, que reposa sobre el terra segons una base de diàmetre r . (1 punt)
- Un serpentí format per dos trams cilíndrics de revolució i dos fragments de tor connecta les superfícies anteriors. La intersecció entre els 4 trams del serpentí són circumferències de radi 400. Un cilindre és bitangent al con i tangent a una paret. L'altre cilindre és tangent a una altra paret i a l'esfera en el punt en que aquesta és tangent a la paret. Els eixos dels dos cilindres tenen el mateix pendent. Els dos fragments de tor són iguals i tangents a dues parets del recinte. El seu eix circular té radi 1200. (Cilindres 2 punts, tors 4 punts)

Només es valoraran les superfícies acabades.



Expressió Gràfica a l'Enginyeria	Cognoms	Grup	Professor	Escala
	Nom	Exercici		NOTA
		D199 FP3 2014 15 QP 35%		

240025 - Expresión Gráfica

Unidad responsable: 240 - ETSEIB - Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona
Unidad que imparte: 717 - EGE - Departamento de Expresión Gráfica en la Ingeniería
Curso: 2015
Titulación: GRADO EN INGENIERÍA DE MATERIALES (Plan 2010). (Unidad docente Obligatoria)
GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA (Plan 2010). (Unidad docente Obligatoria)
GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES (Plan 2010). (Unidad docente Obligatoria)
GRADO EN INGENIERÍA FÍSICA (Plan 2011). (Unidad docente Optativa)
Créditos ECTS: 7,5 Idiomas docencia: Catalán, Castellano

Profesorado

Responsable: IGNASI GARCIA ALMIRALL
Otros: FERNANDEZ SANCHEZ, Joaquin
GARCIA ALMIRALL, Ignasi
GARCIA MARTINEZ, Sandra
GONZALEZ GOMEZ, Vicente
IBARS FONOLLOSA, Guido
MARTIN GIMENEZ, Javier
MONGUET FIERRO, Josep M^a
VILLA SICILIA, Arantza

Competencias de la titulación a las cuales contribuye la asignatura

Específicas:

1. Capacidad de visión espacial y conocimiento de las técnicas de representación gráfica, tanto por métodos tradicionales de geometría métrica i geometría descriptiva, como mediante las aplicaciones de diseño asistido por ordenador.

240025 - Expresión Gráfica

Metodologías docentes

Las clases tienen a la vez una componente teórica, donde se incorporan los conceptos teóricos a medida que son necesarios, y una componente práctica, en las cuales, referente a cada uno de los temas del programa, el estudiante realiza individualmente, con la ayuda del profesor, ejercicios prácticos de tipo gráfico, que aplican los conceptos teóricos enseñados.

Estos ejercicios se realizan utilizando el ordenador, a razón de un ordenador por estudiante, con el soporte que proporciona un programa comercial de CAD en 3D. Las clases se imparten en las aulas informáticas, con capacidad para 32 estudiantes, a razón de 5 horas de clase semanales.

El estudiante tiene la posibilidad de instalar de forma legal y gratuita el programa informático en su propio ordenador doméstico, i así practicar: acabar los ejercicios de clase; hacer los ejercicios complementarios que se proponen al final de cada sesión y realizar trabajos no presenciales.

Los enunciados de los ejercicios a realizar en clase se publican a principio de curso, para facilitar que el estudiante prepare los temas antes de asistir a clase. También se publican diversos materiales de teoría (apuntes, PowerPoint, ...) y "tutoriales" de algunos ejercicios. Estos materiales docentes se pueden consultar a través del Campus Digital (Atenea) o en la red de la Escuela (yin).

Dentro de las 15 semanas del curso, fuera del horario habitual de clase, se realizan 3 Pruebas de evaluación que sirven para evaluar su nivel de aprendizaje y confeccionar su Nota de Curso. Esta evaluación continuada, y la planificación de ejercicios de dificultad progresiva facilitan que el estudiante que practica constantemente y asimila los conocimientos día a día pueda aprobar por curso, sin tener que presentarse al examen final.

Objetivos de aprendizaje de la asignatura

Objetivo general

Potenciar la concepción espacial y el conocimiento de las formas y de las técnicas de representación gráfica más usuales en la ingeniería, utilizando el ordenador, con el soporte que proporciona un programa comercial de CAD en 3D.

Objetivo específico

- Lograr un conocimiento básico del lenguaje del dibujo industrial, tanto a nivel de lectura como de ejecución (convenciones del lenguaje gráfico) y de la presentación de documentación gráfica.
- Ampliación de los conocimientos de geometría métrica y de geometría descriptiva tradicionales, aplicando la geometría del espacio en la construcción de cuerpos poliédricos y superficies curvas en 3D.

Horas totales de dedicación del estudiantado

Dedicación total: 187h 30m	Horas grupo grande:	0h	0.00%
	Horas grupo mediano:	75h	40.00%
	Horas grupo pequeño:	0h	0.00%
	Horas actividades dirigidas:	7h 30m	4.00%
	Horas aprendizaje autónomo:	105h	56.00%

240025 - Expresión Gráfica

Contenidos

1. Convenciones de dibujo I	Dedicación: 5h Grupo grande/Teoría: 2h 30m Aprendizaje autónomo: 2h 30m
Descripción: El Dibujo Técnico. Normalización ISO y AENOR. Formados. Escalas. Vistas ortogonales y auxiliares. Vistas parciales e interrumpidas. Detalles. Acotación: elementos, criterios. Cortes y secciones: tipos. Roscas: representación y acotación.	
2. Modelado en 3D a partir de la lectura de representaciones diédricas normalizadas de una pieza de tipo mecánico. Ejercicios tipo A	Dedicación: 7h Grupo mediano/Prácticas: 4h Aprendizaje autónomo: 3h
Descripción: Ejercicios que pretenden introducir al estudiante en el uso de un programa de CAD en 3D (Procedimientos. Herramientas. Conceptos. Estrategias) a la vez que aprende a leer Representaciones Diédricas Normalizadas (RDN) e interpretarlas. También se facilitan instrucciones para que el estudiante pueda instalar y configurar el programa a su ordenador doméstico.	
3. Escritura de representaciones diédricas normalizadas a partir de piezas de tipo mecánico modeladas en 3D. Ejercicios tipo B	Dedicación: 4h 30m Grupo mediano/Prácticas: 2h Aprendizaje autónomo: 2h 30m
Descripción: Una vez realizados los ejercicios de modelado en 3D a partir de sus RDN (ejercicios A), el estudiante aprende a dibujar con el programa las RDN de estas piezas tridimensionales. Se enseñan las herramientas de dibujo 2D y se aplican los conceptos teóricos aprendidos en el tema 1.	
4. Modelado de piezas de tipo mecánico y escritura de su representación diédrica normalizada a partir de representaciones no diédricas. Ejercicios tipo A+B	Dedicación: 31h Grupo mediano/Prácticas: 14h Grupo pequeño/Laboratorio: 2h Aprendizaje autónomo: 15h
Descripción: A partir de unas representaciones no diédricas el estudiante modela una pieza mecánica en 3D y dibuja su Representación Diédrica Normalizada (RDN). A diferencia del tema anterior, el estudiante no dispone de una RDN como referente y ha de decidir, según su propio criterio, cuales son las vistas, cortes, cotas, etc. necesarios y suficientes para representar la pieza. Los ejercicios propuestos en clase son pruebas 1 de cursos anteriores. Una vez realizado el ejercicio, el estudiante puede comparar su trabajo con una solución propuesta para observar y corregir los posibles fallos. Con estas especificaciones se realiza la Prueba 1 al final de este período. La solución se muestra posteriormente a la realización de la prueba.	

240025 - Expresión Gráfica

5. Convenciones de dibujo II	Dedicación: 5h Grupo grande/Teoría: 0h 30m Grupo mediano/Prácticas: 2h Aprendizaje autónomo: 2h 30m
Descripción: Componentes mecánicos normalizados: reblones, pasadores, tornillos, hembras, muelles, volanderas,... Consulta de catálogos. Composición de un conjunto en 3D a partir de componentes existentes. Montaje a partir de sus relaciones de posición. Cálculo de detección de colisiones. Estudios de movimiento. Representación Diédrica Normalizada del conjunto montado. Despiece. Axonometría en explosión.	
6. Introducción al diseño industrial	Dedicación: 32h Actividades dirigidas: 32h
Descripción: Concepto y clases de diseño. Metodología del diseño industrial. Aplicación al dibujo industrial. Relación forma - función.	
7. Geometría del espacio y métrica elemental	Dedicación: 5h Grupo grande/Teoría: 2h 30m Aprendizaje autónomo: 2h 30m
Descripción: Elementos de la geometría del espacio: punto, recta y plano. Posiciones relativas entre elementos: pertinencia, intersección, paralelismo y perpendicularidad. Distancias y ángulos. Posiciones particulares respecto a los planos de proyección. Nociones de poliedros.	
8. Aplicación de la métrica elemental a la creación (síntesis) y medición (análisis) de cuerpos poliédricos en 3D. Ejercicios tipo C	Dedicación: 37h 30m Grupo mediano/Prácticas: 18h Grupo pequeño/Laboratorio: 2h Aprendizaje autónomo: 17h 30m
Descripción: Punto, recta y plano como vértice, arista y cara de un poliedro. Síntesis métrica: construcción en 3D de un determinado poliedro a partir de sus propiedades métricas (ángulos y distancias). Problemas de distancias, ángulos o pendientes igual, doble, etc. Intersección de poliedros. Análisis métrica: aplicación de los sistemas de medida de los programas de CAD en 3D y de los conceptos de la geometría del espacio en el análisis de las propiedades métricas de un poliedro. Con estas especificaciones se realiza la Prueba 2 al final de este período.	

240025 - Expresión Gráfica

9. Teoría de curvas y superficies	Dedicación: 5h Grupo grande/Teoría: 2h 30m Aprendizaje autónomo: 2h 30m
Descripción: Introducción en el estudio de superficies curvas. Clasificación, elementos, representación. Relación con punto, recta y plano: pertinencia, intersección, tangencia. Intersección entre superficies curvas: clasificación y propiedades. Desarrollo de superficies.	
10. Aplicación de la métrica general y la teoría de superficies en la creación (síntesis) y medición (análisis) de cuerpos formados por superficies curvas en 3D. Ejercicios tipo D	Dedicación: 42h Grupo mediano/Prácticas: 20h Grupo pequeño/Laboratorio: 2h Aprendizaje autónomo: 20h
Descripción: Modelado en 3D de conjuntos de superficies definidas por sus propiedades, valores métricos, posiciones relativas, intersecciones o desarrollos. La aplicación se limita al estudio de esfera, tor, cilindro y cono de revolución, con todas las interacciones posibles. Con estas especificaciones se realiza la Prueba 3 al final de este período.	
-	
Competencias de la titulación a las que contribuye el contenido:	

240025 - Expresión Gráfica

Planificación de actividades

EJERCICIOS COMPLEMENTARIOS	Dedicación: 61h Aprendizaje autónomo: 61h
<p>Descripción:</p> <p>Ejercicios no evaluables propuestos para que se realicen de forma no presencial, al final de cada sesión de clase, para consolidar y ampliar los conocimientos adquiridos en clase y preparar la clase siguiente. Estos ejercicios ayudan al estudiante a obtener más autonomía y velocidad, entrenándolo para la realización de la prueba correspondiente.</p>	
PRUEBA 1	Dedicación: 2h Grupo pequeño/Laboratorio: 2h
<p>Descripción:</p> <p>Ver tema 4 de los Contenidos</p>	
PRUEBA 2	Dedicación: 2h Grupo pequeño/Laboratorio: 2h
<p>Descripción:</p> <p>Ver tema 8 de los Contenidos</p>	
PRUEBA 3	Dedicación: 2h Grupo pequeño/Laboratorio: 2h
<p>Descripción:</p> <p>Ver tema 10 de los Contenidos</p>	
PROYECTO	Dedicación: 32h Aprendizaje autónomo: 32h
<p>Descripción:</p> <p>Ver tema 6 de los Contenidos. Trabajo no presencial.</p>	
EXAMEN FINAL	Dedicación: 13h Grupo pequeño/Laboratorio: 3h Aprendizaje autónomo: 10h

240025 - Expresión Gráfica

Descripción:

Posibilita que el estudiante que ha aprendido los contenidos con retraso respecto a las pruebas del curso pueda mejorar sus calificaciones, de forma global, realizando unos ejercicios que hacen un recorrido por todo el temario, pero de forma abreviada. La calificación obtenida en una de las partes del examen final en ningún caso podrá substituir a la calificación de una de las pruebas realizadas a lo largo del curso.

Como que cada cuatrimestre el estudiante tiene dos posibilidades para aprobar la asignatura (por curso y en el examen final), no habrá ningún otro examen de reevaluación de esta asignatura.

Sistema de calificación

La Nota de Curso de cada estudiante será la suma ponderada de las notas obtenidas en cada una de las 3 pruebas realizadas a lo largo del mismo.

Los estudiantes que acrediten la asistencia a un mínimo del 80% de las clases su calificación final será la máxima entre Nfinal1 y Nfinal2. Los que no acrediten este mínimo de asistencia su calificación final será Nfinal2.

(Nota de Curso) $N_{\text{final 1}} = 0.30 N_{p1} + 0.35 N_{p2} + 0.35 N_{p3}$

$N_{\text{final 2}} = 0.40 N_{\text{final 1}} + 0.6 N_{\text{ef}}$

Np1: Nota de la prueba 1

Np2: Nota de la prueba 2

Np3: Nota de la prueba 3

Nef: Nota del examen final

Normas de realización de las actividades

Las pruebas se realizarán fuera del horario habitual de clase, y tendrán una duración no superior a 2 horas. Para su realización el estudiante podrá llevar y consultar sus propios apuntes, bibliografía, ejercicios resueltos en papel, etc. No se permite la consulta de material en soporte electrónico ni Internet. La realización de una prueba implica la elaboración por parte del estudiante de un fichero que hay que depositar en la red informática de la escuela. Este es el trabajo que se evaluará.

Cada estudiante ha de realizar la prueba en el día, hora y lugar asignados a su grupo de prácticas, de acuerdo con la lista oficial elaborada por Planificación Académica, independientemente del grupo de prácticas al cual asista a clase habitualmente. Quien por causa particular justificada y previsible no pueda asistir a una prueba el día y hora que le corresponde debe pedir, cada vez, el cambio al responsable de la asignatura para que, en función de las plazas disponibles, le asigne otra hora.

El examen final consta de tres partes, cada una de ellas correspondientes a las tres pruebas realizadas durante el curso con un peso del 30% para la prueba 1, un 35% para la prueba 2 y un 35% para la prueba 3. El estudiante recibirá al principio de la sesión los enunciados de las tres pruebas y dispondrá de un máximo de tres horas para realizar los tres apartados. La calificación obtenida en una de las partes del examen final en ningún caso podrá substituir la calificación de una de las pruebas realizadas a lo largo del curso.

240025 - Expresión Gráfica

Bibliografía

Básica:

Company, Pedro [et al]. Dibujo Industrial. Castelló de la Plana: Publicacions de la Universitat Jaume I, 2007. ISBN 9788480216036.

Félez, Jesús ; Martínez, M^a Luisa. Ingeniería gráfica y diseño. Madrid: Síntesis, 2008. ISBN 9788497564991.

García Almirall, Ignasi [et al]. Tècniques de Representació Gràfica : Exercicis [en línea]. Barcelona: Edicions UPC, 1999 Disponible a: <<http://biblioteca.upc.es/EdUPC/locate4.asp?codi=EG002XXX>>. ISBN 8483012812.

Rodríguez de Abajo, F. Javier ; Galarraga Astibia, Roberto. Normalización del dibujo industrial. San Sebastián: Donostiarra, 1993. ISBN 8470631810.

Taibo Fernández, Ángel. Geometría Descriptiva y sus aplicaciones. Tomos I y II. Madrid: Tebar Flores, 1983. ISBN 8473600401.

Senabre Blanes, Carolina [et al]. Cuaderno de prácticas de expresión gráfica. 2^a ed. San Vicente: Club Universitario, 2010. ISBN 9788499480794.

Complementaria:

Asociación Española de Normalización y Certificación. Dibujo técnico: normas básicas. 2^a ed. Madrid: AENOR, 2001. ISBN 8481432717.

Bertoline, Gary R. ; Eric N. Wiebe. Technical graphics communication. 3rd ed. Boston: McGraw-Hill, 2003. ISBN 0073655988.

Chevalier, A.. Dibujo Industrial. México: Limusa, 1994. ISBN 968183948X.

Earle, James H.. Graphics for engineers: with AutoCAD 2002. 6th ed. Upper Saddle River: Pearson Educación, 2003. ISBN 0130081728.

Gómez González, Sergio. El gran libro de SolidWorks [en línea]. Barcelona: Marcombo, 2008 [Consulta: 21/11/2014]. Disponible a: <<http://site.ebrary.com/lib/upcatalunya/docDetail.action?docID=10212354>>. ISBN 9788426714589.

Otros recursos:

Campus digital

En el Campus Digital se puede obtener el mismo material depositado en la red de la escuela. El Campus Digital es también el canal utilizado para la entrega de trabajos, consultas, anuncios (fórum de noticias) y publicación de calificaciones.

Taller

Opcionalmente los estudiantes que lo deseen se pueden inscribir en el Aula Libre de Expresión Gráfica. Un taller abierto donde resolver problemas relacionados con la materia, dirigido por mentores o becarios (solo disponible en cuatrimestre de primavera).

Material audiovisual

Material audiovisual i informàtic

EXPRESSIÓ GRÀFICA

DOCUMENTACIÓ GRÀFICA DEL **PROJECTE** D'UN MECANISME

FASE 1.- Formació de l'equip i elaboració de la proposta.

Al principi de curs els estudiants s'agruparan en equips de **2 o 3 persones d'un mateix grup/classe** ⁽¹⁾ per presentar un projecte conjunt.

El mecanisme objecte del projecte és una **vàlvula de bola** ⁽²⁾.

L'equip posseirà o tindrà accés físic (permís) al mecanisme real (referent) i eines per **desmuntar i mesurar les seves parts** per tal de conèixer la forma, funció i mesures de cadascuna de les peces que el componen.

Cada equip elaborarà una proposta ⁽³⁾ del mecanisme concret a estudiar i representar (vegeu alguns exemples al marge).

El 22 de març és la **data límit** per que un membre (portaveu) de cada equip lliuri a la corresponent tasca d'Atenea un arxiu "proposta_projecte.pdf" amb la fitxa d'identificació de l'equip i documentació fotogràfica del mecanisme (conjunt i peces) de la proposta.

La qualitat i oportunitat de les imatges aportades en aquesta fase ja forma part del procés de valoració del treball. Aquest material es pot complementar amb la informació proporcionada per catàlegs, fullets o altre material explicatiu o promocional trobat en suport paper (escanegeu per adjuntar-los a la proposta i conserveu els originals per adjuntar-los al lliurament del projecte) o digital a través d'internet (indiqueu enllaços i/o adjunteu captures de pantalla).

No es podrà modificar la proposta després d'haver-la enviat a Atenea.

Els estudiants que en aquesta data no formin part de cap equip s'entén que renunciïn a la presentació del projecte (10% de la nota de curs = 0).

Aquest és un treball no presencial. Només es dedicaran 4 sessions del curs (11, 16, 21 i 26) a aquest tema. Qualsevol altra consulta sobre el treball s'haurà de fer en l'horari de consultes que té assignat el professor del grup corresponent.

(*) Consulteu les notes al final del document.



FASE 2.- Coneixement del model.

En aquesta fase del treball es procedirà a identificar la denominació, forma, mesures i funció de cadascuna de les peces que componen el mecanisme.

Per això es necessitarà paper en format A4 i estris de dibuix per realitzar els esbossos (a mà alçada ⁽⁴⁾ o amb escaires i compàs) que calguin, així com un peu de rei ⁽⁵⁾ i/o altres eines per mesurar cadascuna de les peces i anotar les mesures en els esbossos.

En aquesta fase s'assignarà un nom a cadascuna de les peces i es definirà quines d'aquestes peces poden ser normalitzades.

Aquesta tasca es complementarà amb la cerca per internet de taules i catàlegs de fabricants de les peces normalitzades ⁽⁶⁾ i amb la elaboració d'una Fitxa Tècnica (segons model adjunt).

L'objectiu d'aquesta fitxa és que l'estudiant obtingui un cert coneixement sobre el mecanisme que pretén analitzar: la seva estructura, funcionament, denominació dels elements, quins d'ells son normalitzats,... Per elaborar aquesta fitxa ⁽⁷⁾ es farà un treball de camp per localitzar la documentació ⁽⁸⁾ oportuna (fabricants, distribuïdors, etc.) que acrediti una recerca sobre el mecanisme a estudiar.

Fitxa Tècnica

Nom del mecanisme:

Definició de la funció del mecanisme:

Dades sobre la seva morfologia i la denominació de les seves parts:

Descripció de les seves funcions, localització, sistema d'unió entre elles, ...

Dades de producció – comercialització.

- Model, referència u altre codi d'identificació.
- Fabricant:
- País de procedència:
- Localització:
- Adreça internet:

Dades tècniques:

- Característiques tècniques de les peces: materials, etc.
- Normativa.
- Parts o elements normalitzats (annexar informació oportuna)

FASE 3.- Modelat 3D de les peces atenent les mesures obligatòries.

Simulació del muntatge del model virtual 3D.

Posició dels elements. Estudi de moviment i col·lisions. Explosionat

Un cop acabats els esbossos en paper de les peces (amb indicació de totes les mesures que calguin per que quedin definides) i elaborada la Fitxa Tècnica, començarà el modelat en 3D de cadascuna de les peces aplicant els coneixements adquirits en les 10 primeres sessions del curs i **modificant les mesures del referent per tal de que compleixin les mesures obligatòries del quadre adjunt.**

MESURES OBLIGATÒRIES

Professor	Berdie	Fernandez	Garcia	Gonzalez	Judez	Monguet	Palou	Villa
Grup	82	11, 31, 42	22, 51	32, 62, 81	71	41	21, 52, 61	12
D1	70	49	40	33	24	21	15	13
L1	120	83	72	63	52	45	37	34
L2	225	152	152	112	112	93	84	63
M1	M 12	M 8	M 6	M 6	M6	M 5	M 5	M 5
M2	R 3"	R 2"	R 1 1/2"	R 1 1/4"	R 1"	R 3/4"	R 1/2"	R 3/8"

Observacions:

D1 = Diàmetre de perforació de la bola.

L1 = Llargada del cos. Si el cos el formen varies peces es tracta de la llargada de la peça del cos que conté al seu interior la major part de les peces del mecanisme. Si el cos té forma de colze es tracta de la llargada des de la boca d'entrada fins a l'eix de la boca de sortida.

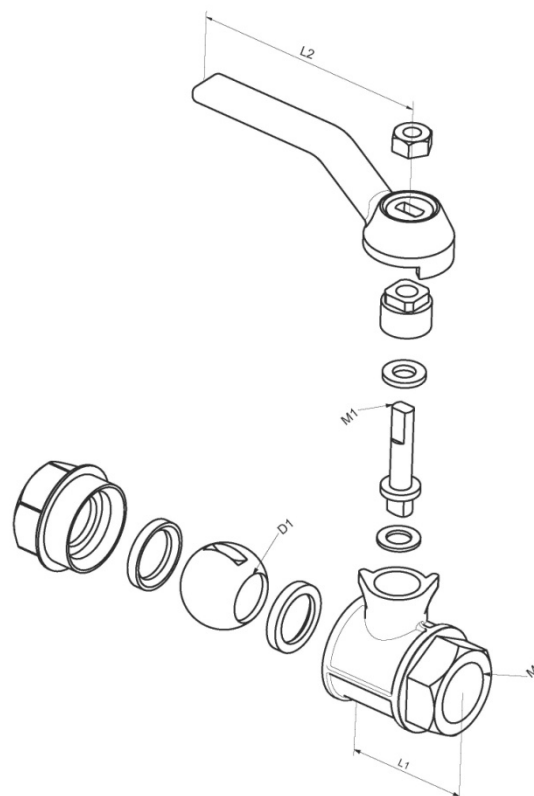
L2 = Llargada de la maneta presa des de l'eix de gir fins a l'extrem oposat.

M1 = Rosca mètrica de l'element d'unió de les peces que giren.

M2 = Rosca Whitworth de gas cònica. Diàmetre nominal del tub expressat en polsades.

Posteriorment es procedirà al muntatge i explosionat de l'assemblatge tal com s'explica en la sessió 11 del curs. Es comprovarà que les mesures de cada peça permeten que el mecanisme funcioni correctament. En cas de col·lisió o excés d'espai entre peces es modificaran les mesures que calguin. També es comprovarà que la forma i mesura de cada peça permeti un moviment adequat del mecanisme.

En la 2^a sessió de seguiment del projecte l'equip mostrarà tot el material que ha recollit/elaborat fins aquesta 3^a fase, tan en format paper com digital, i s'atendran els possibles dubtes referents a la 3^a i 4^a fase.



FASE 4.- Representacions 2D del mecanisme.

En aquesta fase s'elaborarà:

- 1- Una representació dièdrica normalitzada del conjunt muntat, amb les vistes i talls que puguin ser necessaris per que quedin parcialment representades totes les peces, cadascuna amb el seu globus corresponent i el llistat de materials.
- 2- Una perspectiva axonomètrica del conjunt explosionat on apareguin totes les peces aïllades entre si i desplaçades en el sentit del muntatge.
- 3- La representació dièdrica normalitzada individual de cadascuna de les peces a construir (un full per peça) amb totes les vistes, talls i cotes per que quedin definides.
- 4- No cal plànol de les peces normalitzades, que quedaran definides a l'apartat "observacions" del llistat de materials. Cal emprar la normativa en cada cas i adjuntar el catàleg (taula amb mesures estàndard i nom del/s fabricant/s) corresponent a cadascuna de les peces normalitzades a títol informatiu.

En la 3^a i darrera sessió de seguiment del projecte els estudiants aportaran els fitxers de les peces i el conjunt modelat en 3D (muntat i explosionat); documentació gràfica de les peces normalitzades (catàleg del fabricant, taules amb mesures estàndard, etc.) i les representacions 2D que disposi fins al moment. En aquesta sessió s'atendran dubtes corresponents a aquesta fase del procés.

FASE 5.- PRESENTACIÓ DE LA DOCUMENTACIÓ DEL PROJECTE.

Presentació en paper

En un dossier A4 negre de clip o d'anelles es presentarà la següent documentació en el següent ordre:

- Portada on consti l'any del curs, quadrimestre, grup, professor, codi de l'equip, títol del projecte, cognoms i noms dels components de l'equip.
- Índex explicatiu del ordre de continguts. No cal numeració de pàgines.
- Memòria explicativa del procés de treball: dificultats, problemes, solucions...
- Diagrama ⁽⁹⁾ que representi la aportació individual de cada component de l'equip en la autoria de cadascun dels documents presentats tan en format paper com en format digital.
- Fitxa Tècnica (vegeu Fase 2)
- Representacions 2D (vegeu Fase 4)
- Fotografies i altre documentació d'aquest projecte aportades a la Fase 1.
- Esbossos realitzats a la Fase 2.

Annex (opcional) Qualsevol altre documentació complementària trobada a internet o realitzada pels propis estudiants que es consideri oportuna i que contribueixi a explicar o comunicar aspectes perceptius, descriptius o cognitius del objecte. La documentació presentada haurà de fer palès els coneixements adquirits a l'assignatura. Es valoraran altres aspectes que sense ser impartits a l'assignatura complementin la comunicació i/o expressió gràfica de la documentació demanada (p. ex. acotació sobre perspectives, vistes no estàndards per explicar detalls, renderitzats, seccions volumètriques per explicitar forats, vídeos, maquetes, etc.). Aquestes aportacions presentades com Annex incrementaran la nota obtinguda.

Presentació en format digital

El portaveu de cada equip lliurarà a la tasca “lliurament del projecte” d'Atenea una carpeta degudament comprimida (zip, rar, ...) amb tots els fitxers emprats per la elaboració del projecte (slddrw, sldprt, sldasm, pdf, excel, vídeo, powerpoint, ...) L'arxiu comprimit tindrà per nom el codi de l'equip corresponent.

Data límit de lliurament:

29 de maig. Els projectes en format paper es lliuraran a classe, en mà, al professor. La tasca d'Atenea per lliurar els arxius es tancarà al final d'aquest dia.

No s'acceptaran lliuraments de projectes en format paper ni en suport electrònic en dates posteriors, per cap motiu.

Es valorarà:

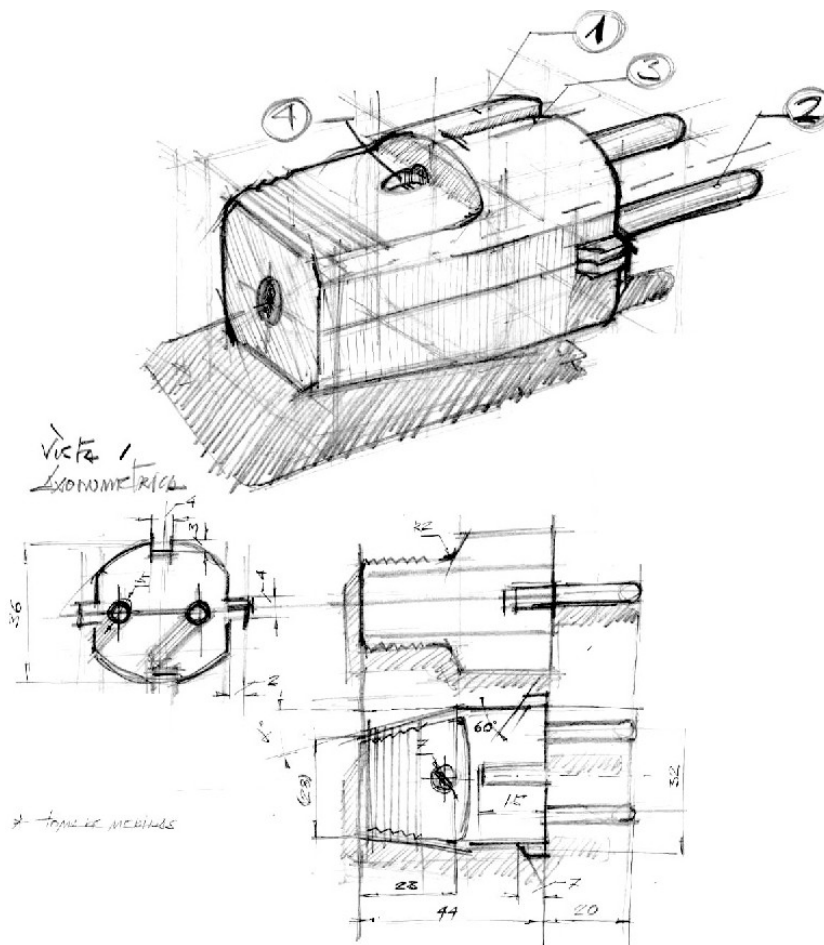
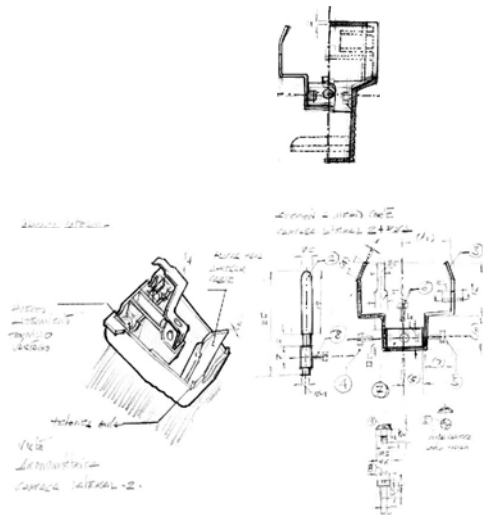
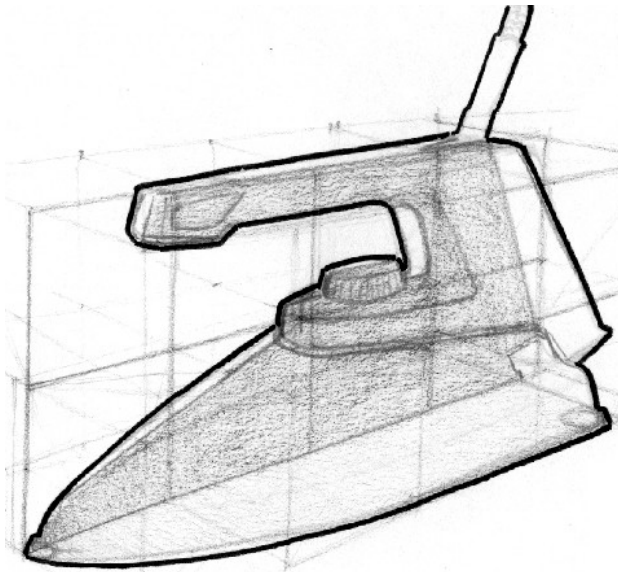
- . El compliment de totes les fases descrites i el seguiment uniforme en el temps del procés de treball.
- . La qualitat expressiva i informativa de tota la documentació aportada, la originalitat del disseny, l'ordre i la presentació.
- . El nivell de complexitat del mecanisme.
- . El compliment de la normativa en les representacions normalitzades.

Diversificació de la nota.- La nota final serà una nota ponderada entre el treball total de l'equip i el parcial corresponent a cadascun dels seus components.

No pot aprovar el projecte:

- Qui la seva participació sigui inferior a un 25% del total de l'equip.
- Qui no respecti les mesures obligatòries del seu grup/classe.
- Qui no presenti els plànols amb els formats de línia, text i cotes de la plantilla a4e.
- Qui li falti alguns dels plànols obligatoris descrits a la fase 4.

(4) Exemples d'esbossos a mà alçada



ANÁLISIS DE LOS DIFERENTES TEST. ÍTEMS MÁS DIFÍCILES. DIFERENCIAS ENTRE PRE Y POS Y COMPARACIONES ENTRE SEXOS Y EXPERIENCIA PREVIA EN BACHILLERATO.

RELACIONES TEST AGRUPADOS CON GÉNERO Y DIBUJO BACHILLERATO

Resumen del procesamiento de los casos

	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
DAT-Pre * Género	101	40,1%	151	59,9%	252	100,0%
DAT-Pos * Género	77	30,6%	175	69,4%	252	100,0%
PSVT-Pre * Género	99	39,3%	153	60,7%	252	100,0%
PSVT-Pos * Género	58	23,0%	194	77,0%	252	100,0%
MCT-Pre * Género	105	41,7%	147	58,3%	252	100,0%
MCT-Pos * Género	71	28,2%	181	71,8%	252	100,0%

Tabla de contingencia DAT-Pre * Género

		Género		Total
		Mujeres	Hombres	
DAT-Pre	<=30	Recuento	3	7
		% dentro de Género	10,3%	9,7%
	31-35	Recuento	2	5
		% dentro de Género	6,9%	6,9%
	36-40	Recuento	7	12
		% dentro de Género	24,1%	16,7%
	41-45	Recuento	8	12
		% dentro de Género	27,6%	16,7%
	46-50	Recuento	3	14
		% dentro de Género	10,3%	19,4%
	51-55	Recuento	3	12
		% dentro de Género	10,3%	16,7%
	56-60	Recuento	3	10
		% dentro de Género	10,3%	13,9%
	Total	Recuento	29	72
		% dentro de Género	100,0%	100,0%

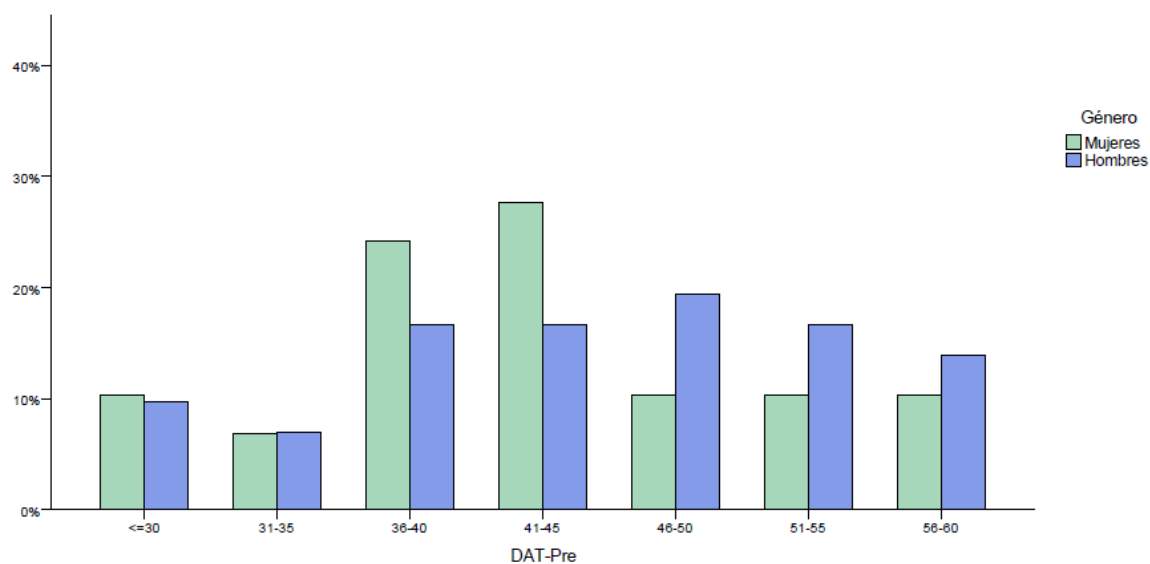


Tabla de contingencia DAT-Pos * Género

			Género		Total
			Mujeres	Hombres	
DAT-Pos	<=30	Recuento	2	1	3
		% dentro de Género	8,3%	1,9%	3,9%
	31-35	Recuento	2	1	3
		% dentro de Género	8,3%	1,9%	3,9%
	36-40	Recuento	0	2	2
		% dentro de Género	0,0%	3,8%	2,6%
	41-45	Recuento	5	7	12
		% dentro de Género	20,8%	13,2%	15,6%
	46-50	Recuento	5	7	12
		% dentro de Género	20,8%	13,2%	15,6%
	51-55	Recuento	5	20	25
		% dentro de Género	20,8%	37,7%	32,5%
	56-60	Recuento	5	15	20
		% dentro de Género	20,8%	28,3%	26,0%
	Total	Recuento	24	53	77
		% dentro de Género	100,0%	100,0%	100,0%

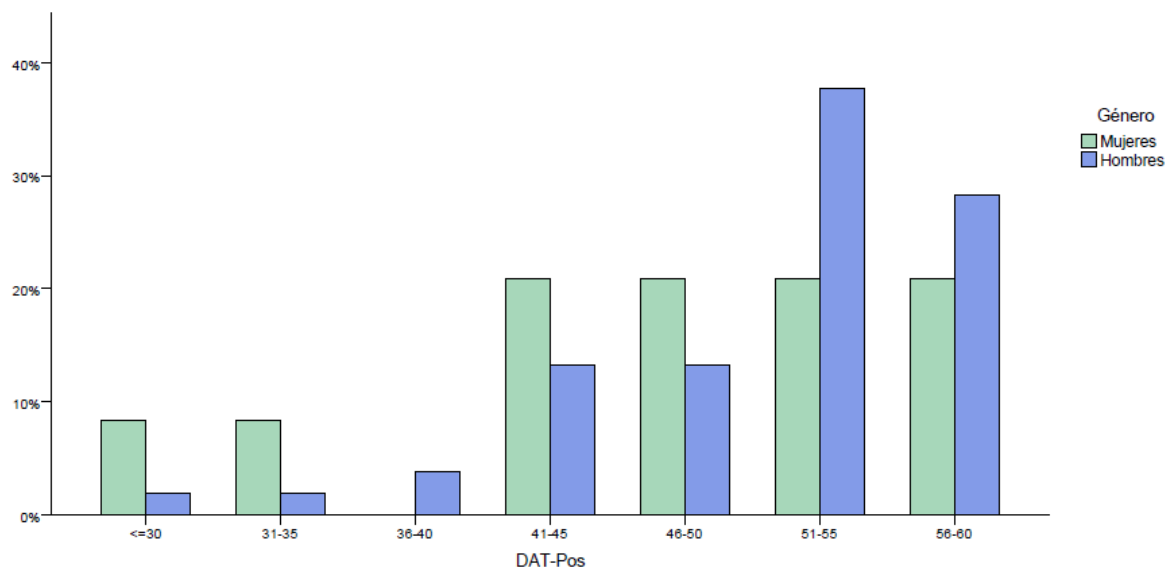


Tabla de contingencia PSVT-Pre * Género

			Género		Total
			Mujeres	Hombres	
PSVT-Pre	<=12	Recuento	0	2	2
		% dentro de Género	0,0%	2,7%	2,0%
	12-15	Recuento	2	5	7
		% dentro de Género	7,7%	6,8%	7,1%
	16-18	Recuento	5	7	12
		% dentro de Género	19,2%	9,6%	12,1%
	19-21	Recuento	5	11	16
		% dentro de Género	19,2%	15,1%	16,2%
	22-24	Recuento	9	17	26
		% dentro de Género	34,6%	23,3%	26,3%
	25-27	Recuento	3	16	19
		% dentro de Género	11,5%	21,9%	19,2%
	28-30	Recuento	2	15	17
		% dentro de Género	7,7%	20,5%	17,2%
Total	Recuento		26	73	99
	% dentro de Género		100,0%	100,0%	100,0%

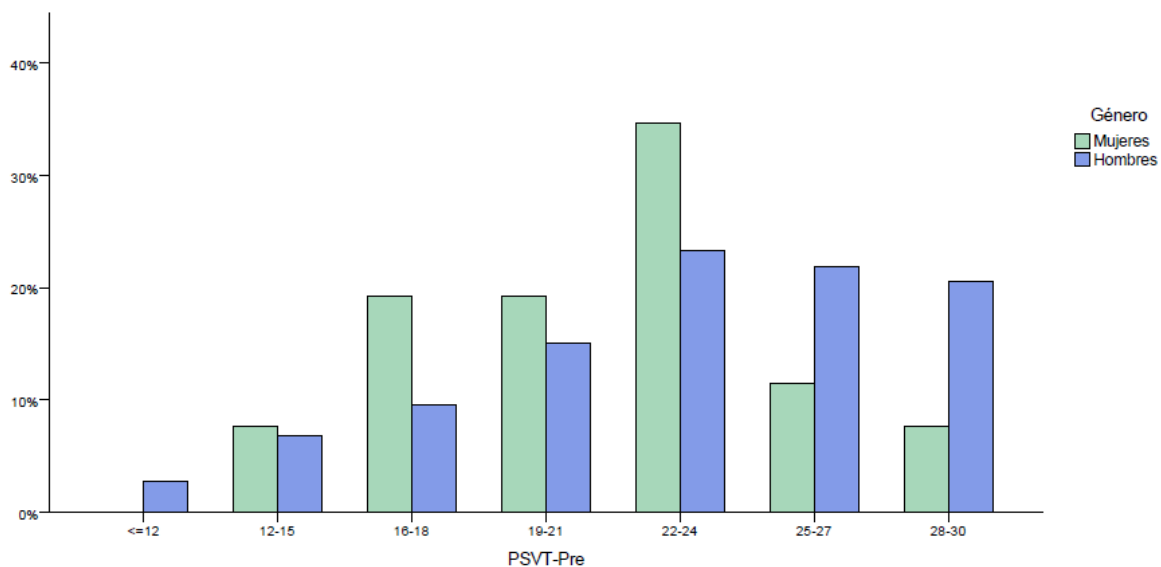


Tabla de contingencia PSVT-Pos * Género

			Género		Total
			Mujeres	Hombres	
PSVT-Pos	16-18	Recuento	1	2	3
		% dentro de Género	5,9%	4,9%	5,2%
	19-21	Recuento	5	0	5
		% dentro de Género	29,4%	0,0%	8,6%
	22-24	Recuento	3	9	12
		% dentro de Género	17,6%	22,0%	20,7%
	25-27	Recuento	4	16	20
		% dentro de Género	23,5%	39,0%	34,5%
	28-30	Recuento	4	14	18
		% dentro de Género	23,5%	34,1%	31,0%
	Total	Recuento	17	41	58
		% dentro de Género	100,0%	100,0%	100,0%

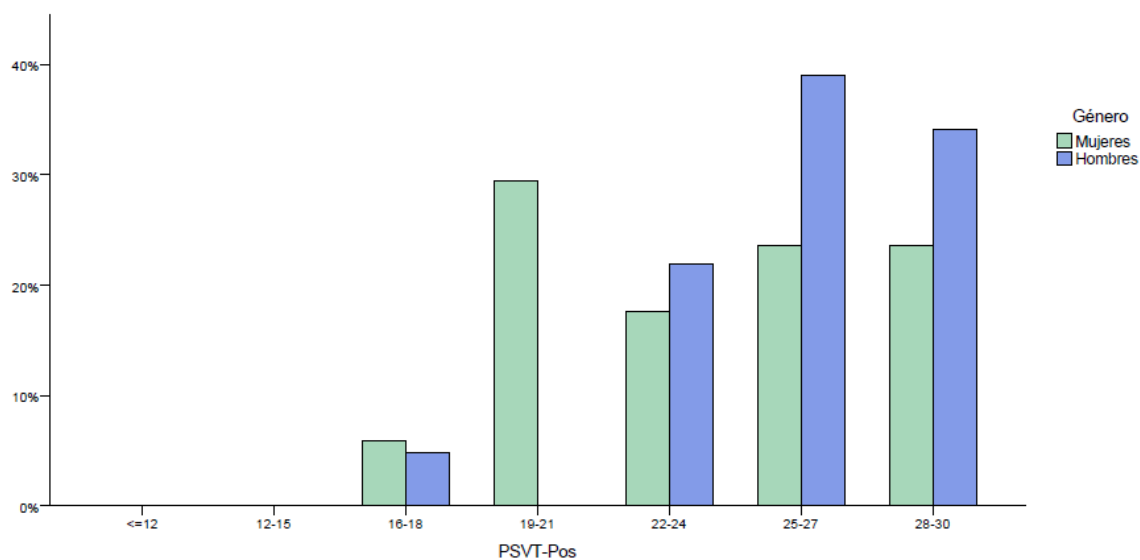


Tabla de contingencia MCT-Pre * Género

			Género		Total
			Mujeres	Hombres	
MCT-Pre	<=7	Recuento	3	1	4
		% dentro de Género	10,7%	1,3%	3,8%
	8-10	Recuento	4	10	14
		% dentro de Género	14,3%	13,0%	13,3%
	11-13	Recuento	7	12	19
		% dentro de Género	25,0%	15,6%	18,1%
	14-16	Recuento	7	19	26
		% dentro de Género	25,0%	24,7%	24,8%
	17-19	Recuento	5	18	23
		% dentro de Género	17,9%	23,4%	21,9%
	20-22	Recuento	1	11	12
		% dentro de Género	3,6%	14,3%	11,4%
	23-25	Recuento	1	6	7
		% dentro de Género	3,6%	7,8%	6,7%
Total	Recuento		28	77	105
	% dentro de Género		100,0%	100,0%	100,0%

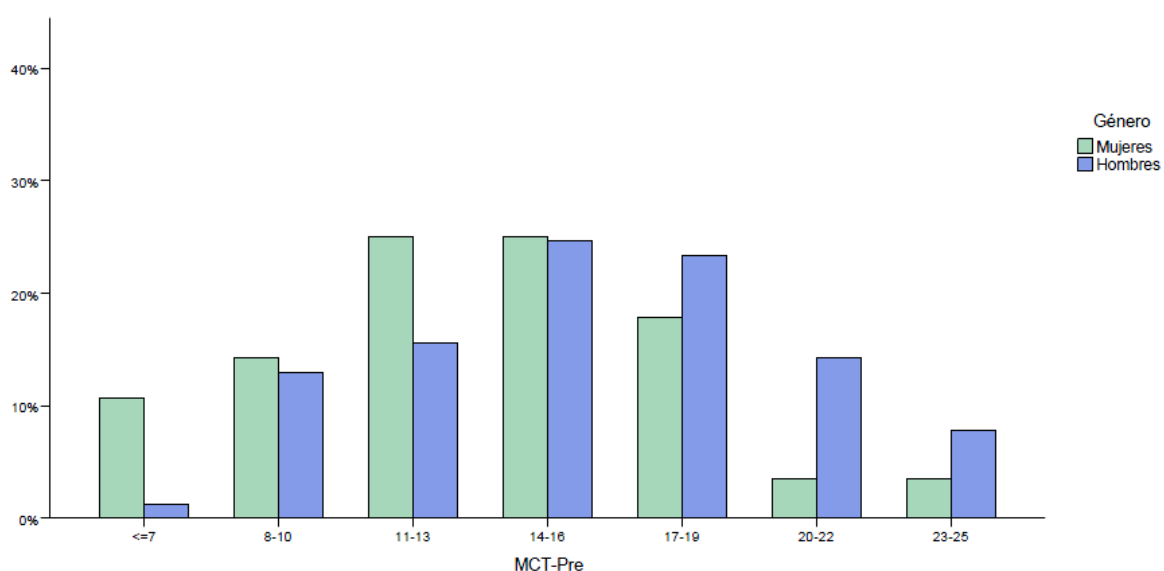
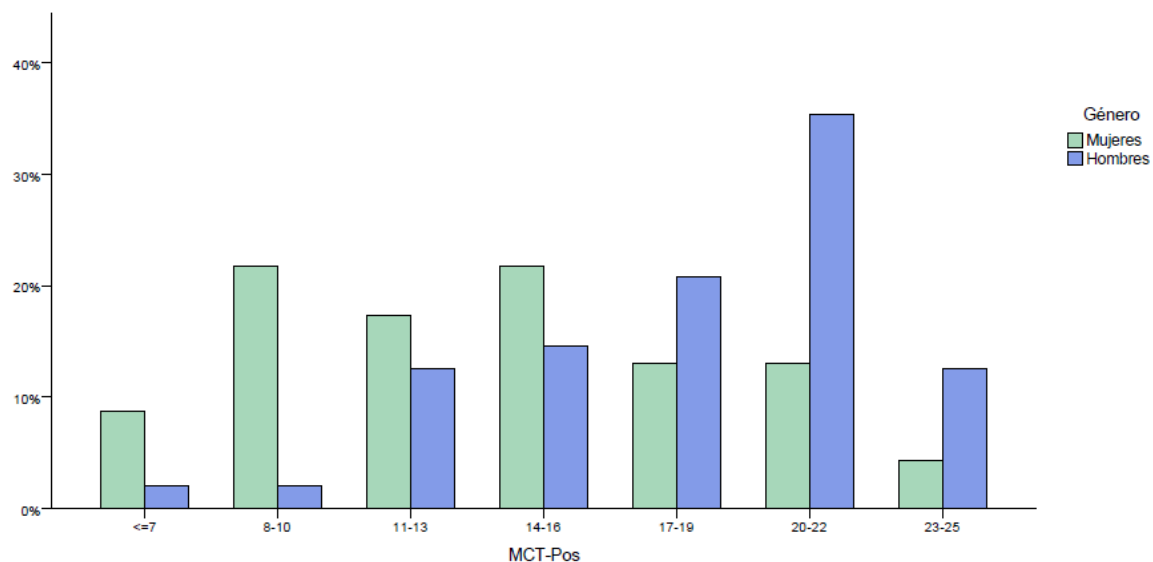


Tabla de contingencia MCT-Pos * Género

			Género		Total
			Mujeres	Hombres	
MCT-Pos	<=7	Recuento	2	1	3
		% dentro de Género	8,7%	2,1%	4,2%
	8-10	Recuento	5	1	6
		% dentro de Género	21,7%	2,1%	8,5%
	11-13	Recuento	4	6	10
		% dentro de Género	17,4%	12,5%	14,1%
	14-16	Recuento	5	7	12
		% dentro de Género	21,7%	14,6%	16,9%
	17-19	Recuento	3	10	13
		% dentro de Género	10,7%	13,0%	11,8%

	% dentro de Género	13,0%	20,8%	18,3%
	Recuento	3	17	20
20-22	% dentro de Género	13,0%	35,4%	28,2%
23-25	Recuento	1	6	7
	% dentro de Género	4,3%	12,5%	9,9%
Total	Recuento	23	48	71
	% dentro de Género	100,0%	100,0%	100,0%



Resumen del procesamiento de los casos

	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
DAT-Pre * Dib.Bach.	101	40,1%	151	59,9%	252	100,0%
DAT-Pos * Dib.Bach.	70	27,8%	182	72,2%	252	100,0%
PSVT-Pre * Dib.Bach.	93	36,9%	159	63,1%	252	100,0%
PSVT-Pos * Dib.Bach.	55	21,8%	197	78,2%	252	100,0%
MCT-Pre * Dib.Bach.	92	36,5%	160	63,5%	252	100,0%
MCT-Pos * Dib.Bach.	66	26,2%	186	73,8%	252	100,0%

Tabla de contingencia DAT-Pre * Dib.Bach.

			Dib.Bach.		Total
			No	Sí	
DAT-Pre	<=30	Recuento	5	5	10
		% dentro de Dib.Bach.	12,5%	8,2%	9,9%
	31-35	Recuento	4	3	7
		% dentro de Dib.Bach.	10,0%	4,9%	6,9%
	36-40	Recuento	6	13	19
		% dentro de Dib.Bach.	15,0%	21,3%	18,8%
	41-45	Recuento	8	12	20
		% dentro de Dib.Bach.	20,0%	19,7%	19,8%

46-50	Recuento	6	11	17
	% dentro de Dib.Bach.	15,0%	18,0%	16,8%
51-55	Recuento	7	8	15
	% dentro de Dib.Bach.	17,5%	13,1%	14,9%
56-60	Recuento	4	9	13
	% dentro de Dib.Bach.	10,0%	14,8%	12,9%
Total	Recuento	40	61	101
	% dentro de Dib.Bach.	100,0%	100,0%	100,0%

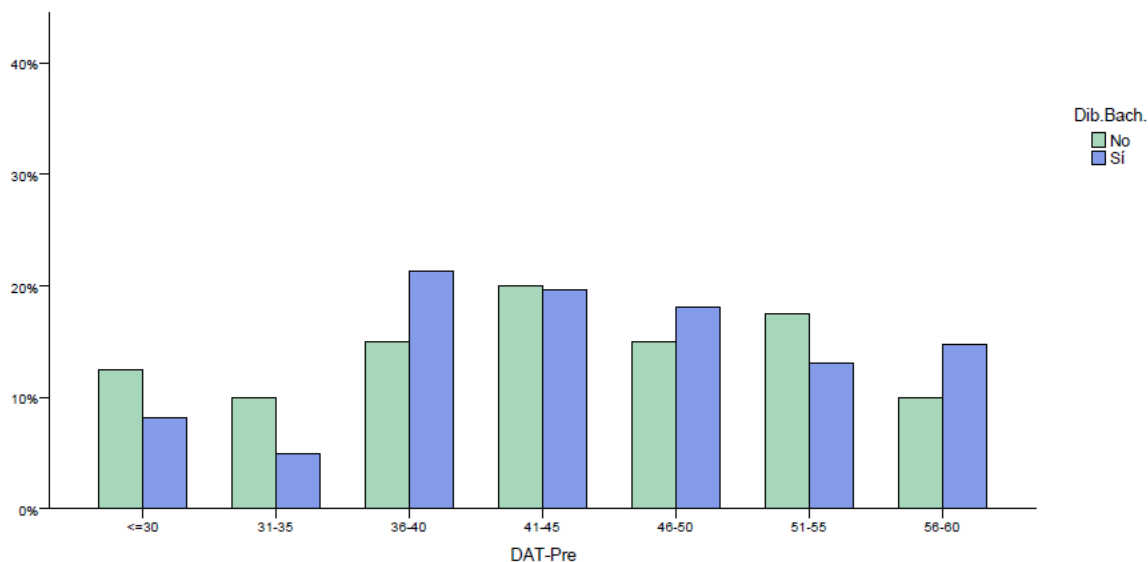


Tabla de contingencia DAT-Pos * Dib.Bach.

			Dib.Bach.		Total
			No	Sí	
DAT-Pos	<=30	Recuento	2	0	2
		% dentro de Dib.Bach.	8,0%	0,0%	2,9%
	31-35	Recuento	1	0	1
		% dentro de Dib.Bach.	4,0%	0,0%	1,4%
	36-40	Recuento	1	0	1
		% dentro de Dib.Bach.	4,0%	0,0%	1,4%
	41-45	Recuento	1	11	12
		% dentro de Dib.Bach.	4,0%	24,4%	17,1%
	46-50	Recuento	5	7	12
		% dentro de Dib.Bach.	20,0%	15,6%	17,1%
	51-55	Recuento	10	13	23
		% dentro de Dib.Bach.	40,0%	28,9%	32,9%
	56-60	Recuento	5	14	19
		% dentro de Dib.Bach.	20,0%	31,1%	27,1%
Total	Recuento	25	45	70	
	% dentro de Dib.Bach.	100,0%	100,0%	100,0%	

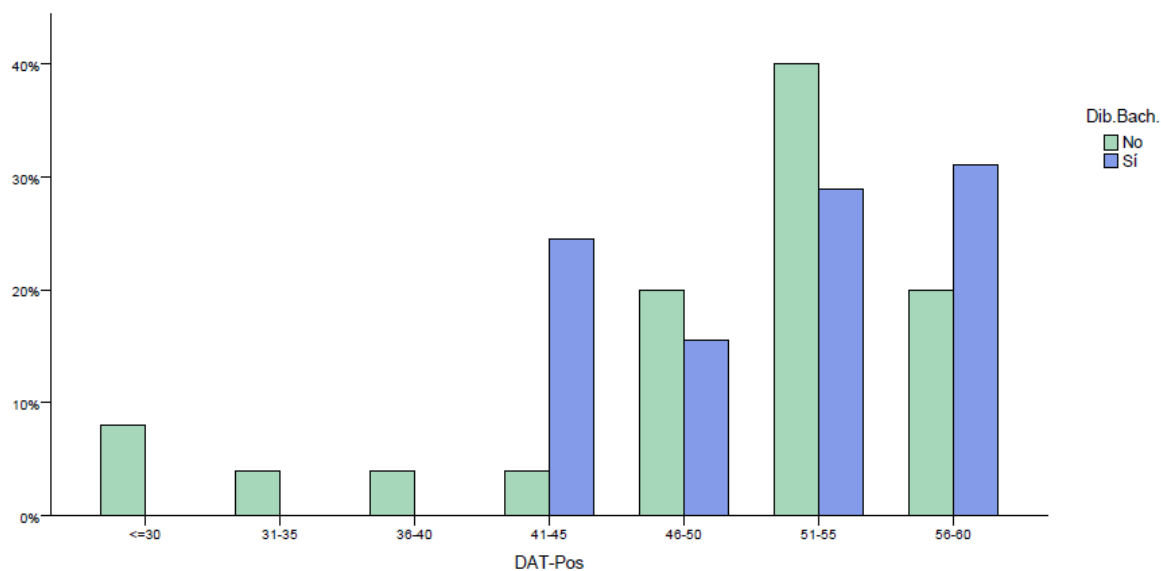


Tabla de contingencia PSVT-Pre * Dib.Bach.

			Dib.Bach.		Total
			No	Sí	
PSVT-Pre	<=12	Recuento	0	1	1
		% dentro de Dib.Bach.	0,0%	1,9%	1,1%
	12-15	Recuento	4	2	6
		% dentro de Dib.Bach.	10,3%	3,7%	6,5%
	16-18	Recuento	7	4	11
		% dentro de Dib.Bach.	17,9%	7,4%	11,8%
	19-21	Recuento	7	8	15
		% dentro de Dib.Bach.	17,9%	14,8%	16,1%
	22-24	Recuento	12	13	25
		% dentro de Dib.Bach.	30,8%	24,1%	26,9%
	25-27	Recuento	5	14	19
		% dentro de Dib.Bach.	12,8%	25,9%	20,4%
	28-30	Recuento	4	12	16
		% dentro de Dib.Bach.	10,3%	22,2%	17,2%
Total	Recuento		39	54	93
	% dentro de Dib.Bach.		100,0%	100,0%	100,0%

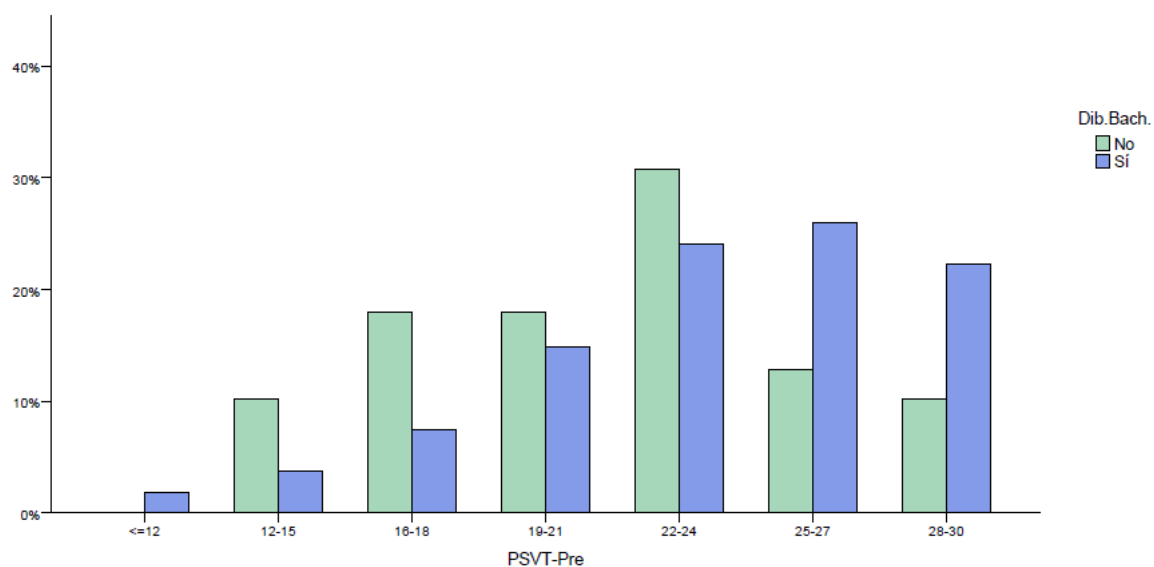


Tabla de contingencia PSVT-Pos * Dib.Bach.

			Dib.Bach.		Total
			No	Sí	
PSVT-Pos	16-18	Recuento	1	2	3
		% dentro de Dib.Bach.	5,3%	5,6%	5,5%
	19-21	Recuento	3	1	4
		% dentro de Dib.Bach.	15,8%	2,8%	7,3%
	22-24	Recuento	4	8	12
		% dentro de Dib.Bach.	21,1%	22,2%	21,8%
	25-27	Recuento	8	12	20
		% dentro de Dib.Bach.	42,1%	33,3%	36,4%
	28-30	Recuento	3	13	16
		% dentro de Dib.Bach.	15,8%	36,1%	29,1%
	Total	Recuento	19	36	55
		% dentro de Dib.Bach.	100,0%	100,0%	100,0%

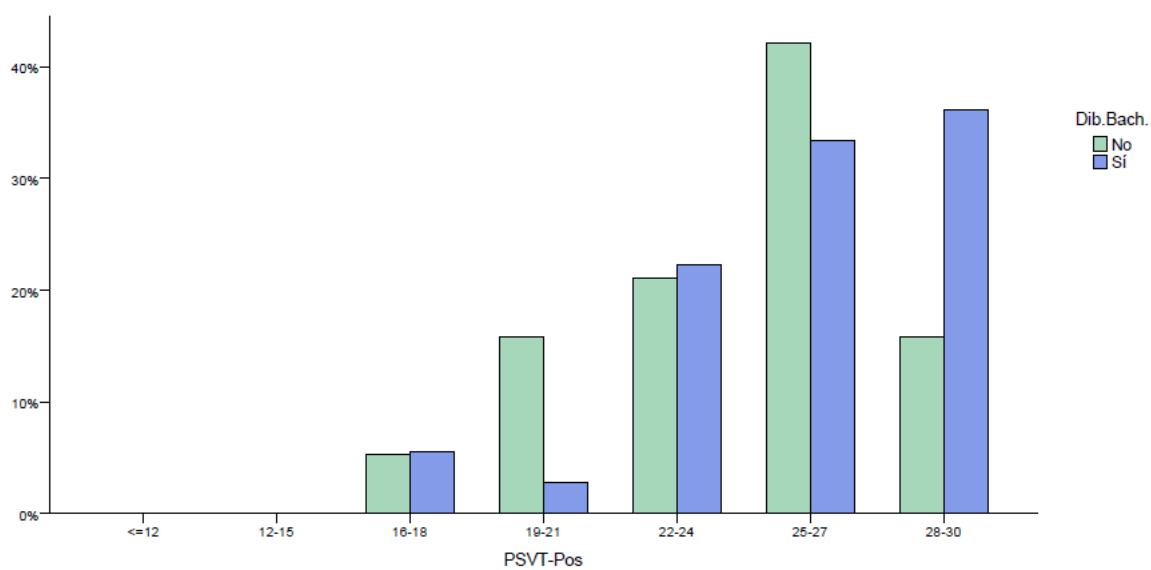


Tabla de contingencia MCT-Pre * Dib.Bach.

			Dib.Bach.		Total
			No	Sí	
MCT-Pre	<=7	Recuento	3	0	3
		% dentro de Dib.Bach.	7,9%	0,0%	3,3%
	8-10	Recuento	9	4	13
		% dentro de Dib.Bach.	23,7%	7,4%	14,1%
	11-13	Recuento	9	9	18
		% dentro de Dib.Bach.	23,7%	16,7%	19,6%
	14-16	Recuento	10	12	22
		% dentro de Dib.Bach.	26,3%	22,2%	23,9%
	17-19	Recuento	6	13	19
		% dentro de Dib.Bach.	15,8%	24,1%	20,7%
	20-22	Recuento	1	10	11
		% dentro de Dib.Bach.	2,6%	18,5%	12,0%
	23-25	Recuento	0	6	6
		% dentro de Dib.Bach.	0,0%	11,1%	6,5%
Total	Recuento		38	54	92
	% dentro de Dib.Bach.		100,0%	100,0%	100,0%

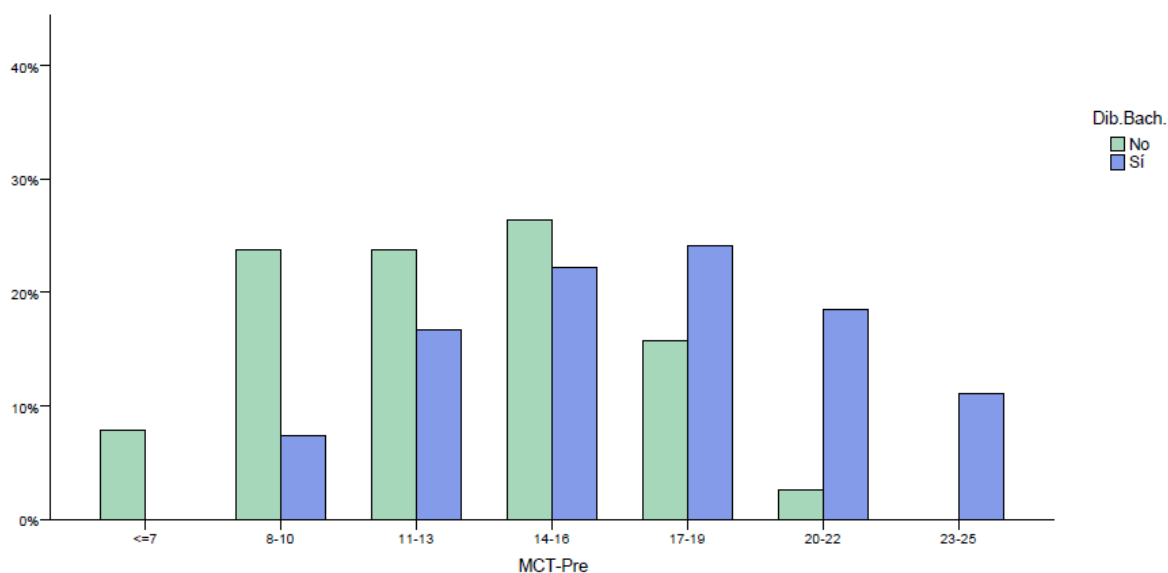
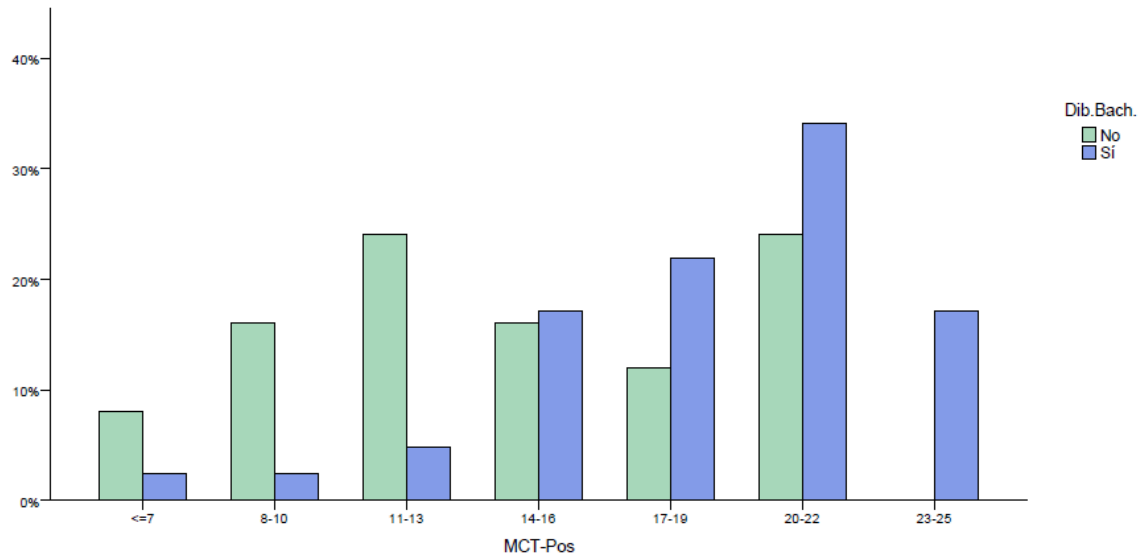


Tabla de contingencia MCT-Pos * Dib.Bach.

			Dib.Bach.		Total
			No	Sí	
MCT-Pos	<=7	Recuento	2	1	3
		% dentro de Dib.Bach.	8,0%	2,4%	4,5%
	8-10	Recuento	4	1	5
		% dentro de Dib.Bach.	16,0%	2,4%	7,6%
	11-13	Recuento	6	2	8
		% dentro de Dib.Bach.	24,0%	4,9%	12,1%
	14-16	Recuento	4	7	11
		% dentro de Dib.Bach.	16,0%	17,1%	16,7%
	17-19	Recuento	3	9	12
		% dentro de Dib.Bach.	15,0%	22,5%	18,8%

Total		% dentro de Dib.Bach.	12,0%	22,0%	18,2%
	20-22	Recuento	6	14	20
		% dentro de Dib.Bach.	24,0%	34,1%	30,3%
	23-25	Recuento	0	7	7
		% dentro de Dib.Bach.	0,0%	17,1%	10,6%
		Recuento	25	41	66
		% dentro de Dib.Bach.	100,0%	100,0%	100,0%



DIFICULTAD DE ÍTEMS TEST DAT-SR (Ordenado de más difícil a más fácil)

Ítem DAT	DAT Pre	DAT Pos	Gan
59	20	40	20
60	20	31	11
56	25	49	25
58	26	53	28
57	28	60	32
53	30	58	29
55	34	61	27
52	36	60	24
54	37	69	32
48	45	58	14
49	45	71	27
51	49	75	27
46	50	57	7
50	50	82	31
38	54	68	13
47	54	70	16
43	62	74	12
45	64	84	20
8	68	86	17
44	68	81	12
36	69	75	6
39	72	84	12
41	75	81	5
42	75	91	16
40	79	86	7
21	80	84	4
37	80	79	-1
10	82	84	2
19	82	91	9
25	84	94	9
32	84	92	8
14	85	90	4
1	86	97	11
31	86	95	9
34	86	91	5
22	87	88	1
23	87	91	4
33	87	92	5
7	88	96	8
4	89	92	3
11	90	97	7
30	90	94	3
35	90	95	5
26	91	84	-7
29	91	96	5
3	92	99	7
9	93	99	6
12	93	97	4
15	93	94	0
20	93	99	6
5	94	91	-3
6	94	95	1
16	94	97	3
17	94	94	-1
13	95	95	0
27	95	97	2
2	96	100	4
24	96	99	3
18	98	97	-1

DIFICULTAD DE ÍTEMS TEST PSVT:R (Ordenado de más difícil a más fácil)

ítem PSVT	PSVT Pre	PSVT Pos	Gan
30	28	36	8
29	37	64	26
25	54	83	29
28	55	78	23
26	61	83	22
27	63	81	18
21	69	74	5
22	69	81	12
24	69	90	21
23	70	72	3
8	72	90	18
20	73	93	20
19	74	93	19
13	79	86	7
9	81	90	9
10	81	84	4
16	81	83	2
17	81	88	7
18	82	83	1
15	84	91	8
14	85	88	3
5	86	93	7
7	86	88	2
11	86	97	11
12	87	95	8
2	91	97	6
4	91	90	-1
6	93	98	5
3	94	83	-11
1	97	95	-2

GANANCIAS EN TEST

COMPARACIÓN MEDIANTE LA T DE STUDENT DE DOS MUESTRAS RELACIONADAS PRUEBA T

Estadísticos de muestras relacionadas

		Media	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1	DAT-Pre	43,97	69	9,215	1,109
	Gain DAT	6,57	69	6,001	,722
Par 2	PSVT-Pre	22,96	54	4,613	,628
	Gain PSVT	2,67	54	3,331	,453
Par 3	MCT-Pre	14,88	66	4,777	,588
	Gain MCT	2,36	66	2,902	,357

Correlaciones de muestras relacionadas

		N	Correlación	Sig.
Par 1	DAT-Pre y Gain DAT	69	-,586	,000
Par 2	PSVT-Pre y Gain PSVT	54	-,733	,000
Par 3	MCT-Pre y Gain MCT	66	-,323	,008

Prueba de muestras relacionadas

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	DAT-Pre - Gain DAT	37,406	13,629	1,641	34,132	40,680	22,798	68	,000
Par 2	PSVT-Pre - Gain PSVT	20,296	7,409	1,008	18,274	22,319	20,131	53	,000
Par 3	MCT-Pre - Gain MCT	12,515	6,340	,780	10,957	14,074	16,038	65	,000

La primera de las tres tablas nos da los estadísticos descriptivos más comúnmente usados.

La segunda nos da la correlación y la significación de la prueba t. El valor $p < 0,05$: existe relación entre variables.

La tercera y última tabla nos da la prueba t. Se analiza como ejemplo DAT: La diferencia entre las medias es de 37,41. El límite aceptable está comprendido entre los valores 34,13 y -40,68. La diferencia se encuentra dentro de ese intervalo. Por tanto, se asume que las medias son diferentes. También puede verse el estadístico t y su significación $p < 0,001$. Se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias.

	Porcentaje de alumnos entre los que hicieron todos los test (N=47)		
Ganancia (%)	DAT-SR	PSVT:R	MCT
Nada (≤ 0)	17,0	23,4	31,1
0,1-10	34,1	48,9	24,5
10,1-20	34	14,9	22,2
20,1-30	10,6	6,4	15,5
>30	4,3	6,4	6,7
Total	100	100	100

Rectas de Regresión Notas / Test

REGRESIÓN NOTA P1/DAT-PRE

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,364 ^a	,132	,123	21,6130

a. Variables predictoras: (Constante), DAT-Pre

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	6982,711	1	6982,711	14,948	,000 ^b
Residual	45777,799	98	467,120		
Total	52760,510	99			

a. Variable dependiente: Nota P1

b. Variables predictoras: (Constante), DAT-Pre

Coefficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1 (Constante)	12,054	10,194		1,183	,240
DAT-Pre	,881	,228	,364	3,866	,000

a. Variable dependiente: Nota P1

REGRESIÓN NOTA P1 / PSVT:R

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,220 ^a	,049	,039	21,3379

a. Variables predictoras: (Constante), PSVT-Pre

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	2251,463	1	2251,463	4,945	,028 ^b
Residual	44164,830	97	455,308		
Total	46416,293	98			

a. Variable dependiente: Nota P1

b. Variables predictoras: (Constante), PSVT-Pre

Coefficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1 (Constante)	28,052	10,378		2,703	,008
PSVT-Pre	1,002	,451	,220	2,224	,028

a. Variable dependiente: Nota P1

REGRESIÓN NOTA P1 / MCT

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,281 ^a	,079	,070	22,0589

a. Variables predictoras: (Constante), MCT-Pre

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	4282,956	1	4282,956	8,802	,004 ^b
Residual	50119,178	103	486,594		
Total	54402,133	104			

a. Variable dependiente: Nota P1

b. Variables predictoras: (Constante), MCT-Pre

Coefficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1 (Constante)	27,524	7,725		3,563	,001
MCT-Pre	1,443	,487	,281	2,967	,004

a. Variable dependiente: Nota P1

REGRESIÓN NOTA MODELO / DAT-PRE

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,429 ^a	,184	,174	25,5085

a. Variables predictoras: (Constante), DAT-Pre

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	11882,245	1	11882,245	18,261	,000 ^b
Residual	52705,476	81	650,685		
Total	64587,721	82			

a. Variable dependiente: Nota modelado

b. Variables predictoras: (Constante), DAT-Pre

Coefficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1 (Constante)	3,558	13,322		,267	,790
DAT-Pre	1,268	,297	,429	4,273	,000

a. Variable dependiente: Nota modelado

REGRESIÓN NOTA MODELO / PSVT-PRE

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,352 ^a	,124	,113	24,8356

a. Variables predictoras: (Constante), PSVT-Pre

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	7165,669	1	7165,669	11,617	,001 ^b
Residual	50578,012	82	616,805		
Total	57743,681	83			

a. Variable dependiente: Nota modelado

b. Variables predictoras: (Constante), PSVT-Pre

Coefficientes^a

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	15,367	13,729		1,119	,266
	PSVT-Pre	1,991	,584	,352	3,408	,001

Variable dependiente: Nota modelado

REGRESIÓN NOTA MODELO / MCT-PRE

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,412 ^a	,169	,160	24,0464

a. Variables predictoras: (Constante), MCT-Pre

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	10490,821	1	10490,821	18,143	,000 ^b
Residual	51462,414	89	578,229		
Total	61953,235	90			

a. Variable dependiente: Nota modelado

b. Variables predictoras: (Constante), MCT-Pre

Coefficientes^a

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	22,864	9,114		2,509	,014
	MCT-Pre	2,428	,570	,412	4,259	,000

a. Variable dependiente: Nota modelado

REGRESIÓN NOTA P2 / DAT-PRE

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,308 ^a	,095	,086	25,9832

a. Variables predictoras: (Constante), DAT-Pre

ANOVAa

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	6811,980	1	6811,980	10,090	,002b
	Residual	64812,064	96	675,126		
	Total	71624,043	97			

a. Variable dependiente: Nota P2

b. Variables predictoras: (Constante), DAT-Pre

Coefficientesa

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	25,407	12,416		2,046	,043
	DAT-Pre	,879	,277	,308	3,176	,002

a. Variable dependiente: Nota P2

REGRESIÓN NOTA P2 / PSVT-PRE

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,309 ^a	,096	,086	26,4826

a. Variables predictoras: (Constante), PSVT-Pre

ANOVAa

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	6961,838	1	6961,838	9,927	,002b
	Residual	65925,076	94	701,331		
	Total	72886,914	95			

a. Variable dependiente: Nota P2

b. Variables predictoras: (Constante), PSVT-Pre

Coefficientesa

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	23,020	13,183		1,746	,084
	PSVT-Pre	1,797	,570	,309	3,151	,002

a. Variable dependiente: Nota P2

REGRESIÓN NOTA P2 / MCT-PRE

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,364a	,132	,123	25,4565

a. Variables predictoras: (Constante), MCT-Pre

ANOVAa

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	9777,558	1	9777,558	15,088	,000b
Residual	64155,116	99	648,031		
Total	73932,673	100			

a. Variable dependiente: Nota P2

b. Variables predictoras: (Constante), MCT-Pre

Coefficientesa

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	30,200	9,010		3,352	,001
	MCT-Pre	2,206	,568	,364	3,884	,000

a. Variable dependiente: Nota P2

REGRESIÓN NOTA FINAL / DAT-PRE

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,354a	,125	,116	15,572

a. Variables predictoras: (Constante), DAT-Pre

ANOVAa

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	3268,783	1	3268,783	13,481	,000b
Residual	22792,956	94	242,478		
Total	26061,740	95			

a. Variable dependiente: Nota Final

b. Variables predictoras: (Constante), DAT-Pre

Coefficientesa

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	40,750	7,560		5,390	,000
	DAT-Pre	,616	,168	,354	3,672	,000

a. Variable dependiente: Nota Final

REGRESIÓN NOTA FINAL / PSVT-PRE

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,343a	,117	,108	15,488

a. Variables predictoras: (Constante), PSVT-Pre

ANOVAa

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	2905,360	1	2905,360	12,113	,001b
Residual	21827,543	91	239,863		
Total	24732,903	92			

a. Variable dependiente: Nota Final

b. Variables predictoras: (Constante), PSVT-Pre

Coefficientesa

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	41,557	7,775		5,345	,000
	PSVT-Pre	1,166	,335	,343	3,480	,001

a. Variable dependiente: Nota Final

REGRESIÓN NOTA FINAL / MCT-PRE

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,389a	,152	,143	14,482

a. Variables predictoras: (Constante), MCT-Pre

ANOVAa

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	3523,188	1	3523,188	16,798	,000b
Residual	19715,552	94	209,740		
Total	23238,740	95			

a. Variable dependiente: Nota Final

b. Variables predictoras: (Constante), MCT-Pre

Coefficientesa

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	48,254	5,285		9,130	,000
	MCT-Pre	1,355	,331	,389	4,099	,000

REGRESIÓN NOTA FINAL / DAT-POS

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,374a	,140	,129	13,939

a. Variables predictoras: (Constante), DAT-Pos

ANOVAa

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	2344,484	1	2344,484	12,066	,001b
Residual	14378,398	74	194,303		
Total	16722,882	75			

a. Variable dependiente: Nota Final

b. Variables predictoras: (Constante), DAT-Pos

Coeficientesa

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1 (Constante)	36,023	10,065		3,579	,001
DAT-Pos	,691	,199	,374	3,474	,001

a. Variable dependiente: Nota Final

REGRESIÓN NOTA FINAL / PSVT-POS

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,370a	,137	,121	12,987

a. Variables predictoras: (Constante), PSVT-Pos

ANOVAa

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	1471,322	1	1471,322	8,723	,005b
Residual	9276,573	55	168,665		
Total	10747,895	56			

a. Variable dependiente: Nota Final

b. Variables predictoras: (Constante), PSVT-Pos

Coeficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1 (Constante)	34,520	13,336		2,588	,012
PSVT-Pos	1,539	,521	,370	2,954	,005

a. Variable dependiente: Nota Final

REGRESIÓN NOTA FINAL / MCT- POS

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,455a	,207	,195	13,988

a. Variables predictoras: (Constante), MCT-Pos

ANOVAa

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	3416,647	1	3416,647	17,461	,000b
	Residual	13110,426	67	195,678		
	Total	16527,072	68			

a. Variable dependiente: Nota Final

b. Variables predictoras: (Constante), MCT-Pos

Coefficientesa

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	46,231	6,135		7,535	,000
	MCT-Pos	1,461	,350	,455	4,179	,000

RECTAS

